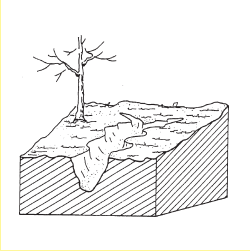
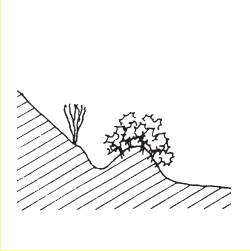
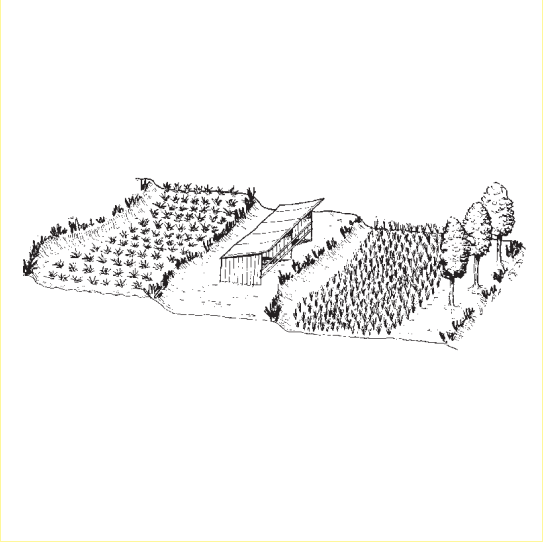
Série Agrodok No. 11

La protection des sols contre l'érosion dans les zones tropicales





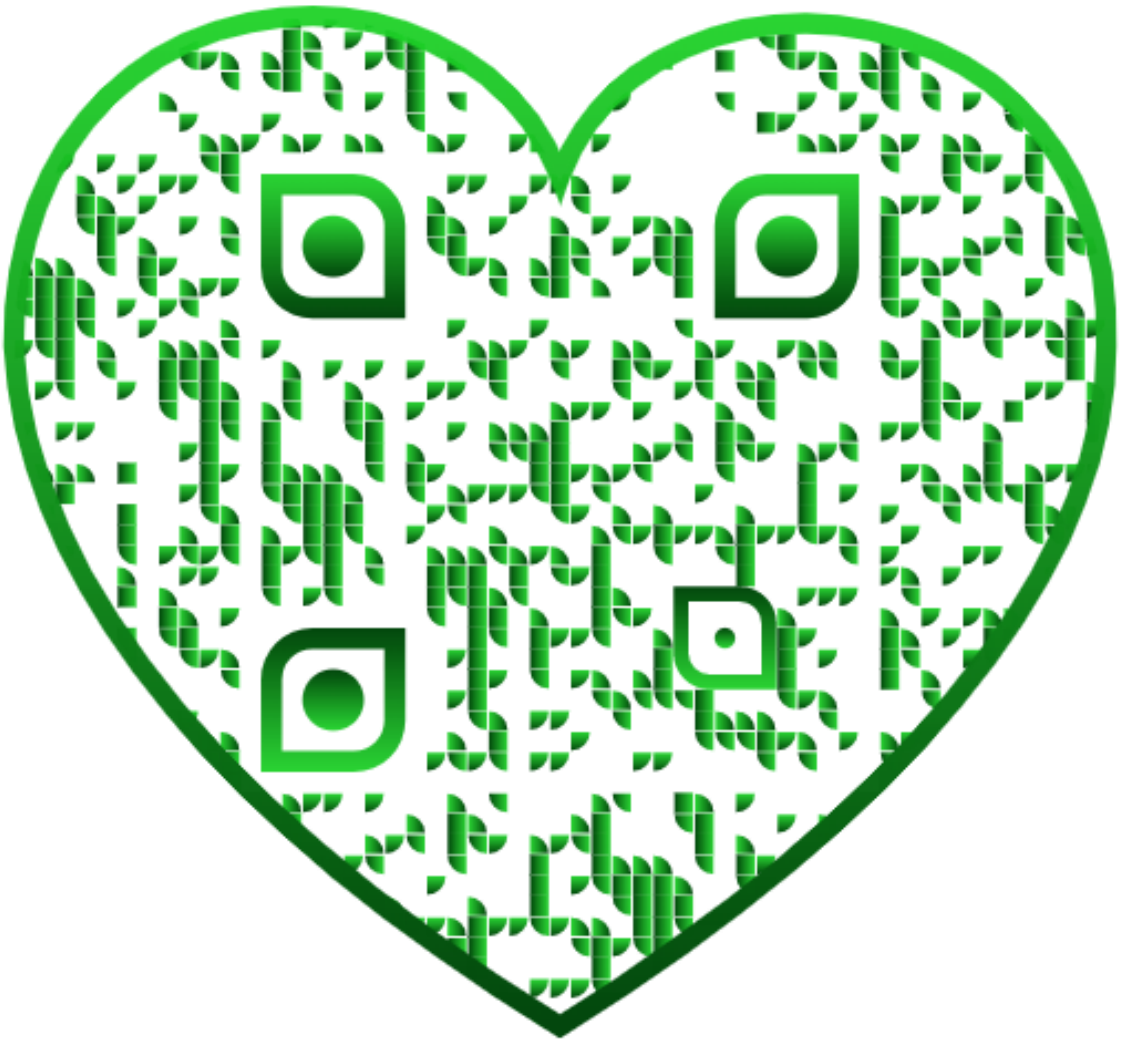


CTA

partageons les connaissances au profit des communautés rurales

sharing knowledge, improving rural livelihoods

SHOUT
SHARE
IT



Agrodok 11

La protection des sols contre l'érosion dans les zones tropicales

Hil Kuypers
Anne Mollema
Egger Topper

© Fondation Agromisa, Wageningen, 2004.

Tous droits réservés. Aucune reproduction de cet ouvrage, même partielle, quel que soit le procédé, impression, photocopie, microfilm ou autre, n'est autorisée sans la permission écrite de l'éditeur.

Première édition en français : 1985
Édition réédition : 1997
Troisème édition: 2004

Auteurs : Hil Kuypers, Anne Mollema, Egger Topper
Illustrations : Hensen Trenning
Conception : Janneke Reijnders
Traduction : N. Pons-Ghitulescu, E. Codazzi
Imprimé par : Digigrafi, Wageningen. Pays Bas

ISBN Agromisa: 90-77073-68-x

Avant-propos

Le livret "La protection des sols contre l'érosion dans les tropiques' se trouve devant vous.
Nous espérons qu'il servira d'introduction utile dans la problématique et la défense contre l'érosion.

Tous nos remerciements à M. Eppink de l'Université Agronomique de Wageningen pour ses observations critiques.
Les dessins ont été faits par Hensen Trenning.

Hil Kuypers
Anne Mollema
Egger Topper

Wageningen, février 1985.

Je veux remercienments Potin Diémé et Lineke v. Dongen pour les critques français, le group d'illustration d'Agromisa pour les dessins parfait, Ien Ko, Pieter v. Soest et le sector Agrodok d'Agromisa total dans le processus de revue.

Floris Enninga

Wageningen, janvrier 1997.

Sommaire

1	**Introduction**	**6**
1.1	Objectifs	6
1.2	Qu'est ce que l'érosion du sol?	7
1.3	La gravité du problème de l'érosion	8
2	**Comment peut-on voir l'erosion dans le terrain?**	**10**
3	**Processus d'érosion**	**18**
3.1	Comment se forme le processus de l'érosion?	18
3.2	La relation entre l'érosion et les conditions du sol	20
3.3	Effet combiné de l'érosion en nappe et l'érosion en filets	23
3.4	Les principes de la lutte contre l'érosion	25
4	**Les consequences de l'érosion sur l'agriculture**	**27**
4.1	Introduction	27
4.2	Les conséquences sur le sol	27
4.3	Conséquences sur la gestion d'une ferme	28
5	**Protection des cultures**	**32**
5.1	Introduction	32
5.2	La culture suivant les courbes de niveau	33
5.3	La culture en bandes et l'amélioration en bandes	35
5.4	Limitation des pratiques culturales	39
5.5	Le mulch et le paillage	41
5.6	Le couvert du sol et le couvert améliorant	45
5.7	La fertilisation	47
5.8	Culture multiple	48
6	**Mesures a appliquer dans les differents systemes de cultures**	**51**
6.1	Rotation et jachère	51
6.2	Prairies et incendies	53
6.3	Arbres et forêts dans la lutte contre l'érosion	55

7 Mesures techniques 59
7.1 Introduction 59
7.2 Mesures à appliquer 61
7.3 Terrasses 63
7.4 Drainage 68

8 Causes d'arriere plan de l'érosion 74

9 Conditions necessaires pour la reussite des mesures 76

10 En guise de resume 81

Annexe A : Liste des termes techniques 84

Annexe B : Quelques techniques topographiques pour déterminer les courbes de niveau 88

Annexe C : Espèces 92

Annexe D : Legumineuses 95

Bibliographie 97

Adresses utiles 99

1 Introduction

1.1 Objectifs

Aux questions le plus souvent très concrètes que Agromisa reçoit, on peut répondre dans la plupart des cas, par des conseils très concrets également.
De temps en temps, on reçoit pourtant aussi des questions comme celle-ci : "Qu'est-ce qu'on peut faire dans cette région contre l'érosion?". A une telle question il est évident que, pour pouvoir répondre, on doit tout d'abord demander en contre partie, des information supplementaires, comme :

- Comment apparaissent les phénomènes d'érosion?
- Quelle est la répartition des précipitations?
- Quelles sont les cultures de la région?
- Est-ce que le terrain est en pente?
- Etc.

C'est seulement en connaissant ces faits importants qu'il nous sera possible de dire ce qu'on doit faire pour lutter contre l'érosion.
En écrivant ce livret, nous avons essayé de donner une réponse détaillée à cette question et de faire en même temps une présentation globale de la lutte contre l'érosion. Ce livret entre vos mains ne pourra certainement pas vous permettre de construire des terrasses. Il existe pour cela, d'autres livres (voir la bibliographie). Mais nous avons essayé de fournir toet de meme, assez d'informations de manière à aider tous ceux qui dans la pratique, sont confrontés aux problèmes de l'érosion.

En écrivant ce livret, nos buts ont été les suivants :

- Souligner la gravité des problèmes de l'érosion, car très fréquemment l'érosion n'est pas reconnue suffisamment tôt. Dans beaucoup de cas, elle s'introduit furtivement et il est difficile de la déceler.
- Donner un aperçu sur les causes et le déroulement du processus d'érosion, en montrant les facteurs qui influencent le mécanisme d'érosion et comment ces facteurs s'influencent entre eux.

- Eclaircir la relation entre l'érosion et les systèmes d'agriculture. Les systèmes d'agriculture (l'utilisation des terres) déterminent en grande partie le déclenchement de l'érosion et l'érosion à son tour, impose des limitations à l'agriculture.
- Enumérer les mesures de lutte contre l'érosion les plus importantes en mentionnant les principes sur lesquels elles reposent et donner en même temps, une idée sur le mode d'application de ces mesures. Le risque d'érosion doit également être pris en considération et constituer une préoccupation permanente.

Si, durant la lecture de ce livret, vous perdez le fil du récit, vous pouvez utiliser le chapitre 10, car il n'est qu'un résumé des différents autres chapitres.

Pour rendre le sujet plus clair, nous nous sommes limités à parler uniquement de l'érosion hydrique, dont nous avons montré les causes et les principes de base pour la combattre. En nous limitant à cette forme d'érosion nous n'avons pas voulu minimiser l'érosion éolienne, mais au contraire, souligner sa gravité, dont nous parlerons dans un autre livret.
Pour rendre celui-ci accessible à tout le monde, nous avons évité de le fonder sur trop de connaissance de base. C'est pur cela, que peut-être, en le lisant vous allez trouver bien des choses connues. Mais si nous ne sommes pas partis de trop de notions de base, nous n'avons pas non plus pu éviter l'utilisation de certains termes de spécialité. Pour faciliter leur compréhension, nous les avons marqués dans le texte et donné leur définition dans l'annexe A la fin du livret.

1.2 Qu'est ce que l'érosion du sol?

Il existe un bon nombre de définitions de l'érosion. Nous nous limitons ici à clarifier ce que nous allons traiter dans ce qui suit sur l'érosion. Il y a, en fait deux sortes d'érosion.
Notamment, l'érosion naturelle ou géologique et l'érosion accélérée ou anthropique.

L'érosion géologique se déroule continuellement. C'est elle qui a conduit à la formation du paysage actuel dans son ensemble. C'est une érosion continue mais très lente. La quantité de terre qui est enlevée par l'érosion géologique sur 1 ha de terre est en moyenne de 1 à 2 tonnes par année. Mais ce déplacement de terre est le plus souvent en équilibre avec la quantité de sols formé chaque année, par altération. Lorsque l'homme détruisit la végétation naturelle pour cultiver le sol sur les pentes (par défrichements de forêts, feu etc.) l'érosion des sols se déclencha. C'est ce que l'on appelle l'érosion anthropique. Par cette érosion, 50 tonnes de sol environ par hectare et par année sont enlevées aux sols, ce qui est égal à plus ou moins 400 mm d'épaisseur de sol par siècle. Quand nous parlons de l'érosion dans ce livret, nous nous référons qu'à cette érosion déclenchée par l'homme. Un autre terme que nous allons utiliser, c'est celui de dégradation du sol. Cela veut dire, la diminution de la capacité de production du sol. C'est parce-que l'érosion et la dégradation sont des processus qui vont ensemble. La dégradation du sol est une conception plus large. Elle inclut la pollution, la salinisation, l'érosion etc. La dégradation du sol est souvent une première étape avant que l'érosion se manifeste de façon évidente, car il n'est pas nécessaire que le sol soit enlevé pour que sa productivité baisse. Une exploitation excessive par exemple, peut détruire la structure et en conséquence la capacité de rétention de l'eau.
Dans ce livret, nous allons essayer de ne pas mélanger ces deux termes, car comme nous l'avons déjà dit, ils ont des significations différentes.

1.3 La gravité du problème de l'érosion

De nombreux rapports ont été écrits sur les terres en proie à l'érosion dans les différents continents. Selon des estimations, l'érosion emporte chaque minute 10 hectares de terre agricole sur toute la surface du globe. Il s'agit là de chiffres moyens.
Dans certaines zones l'érosion est très faible, alors que dans d'autres plus de 200 tonnes de sol (l'équivalent de 20 camions !) disparaissent chaque année. Les fleuves qui charrient ces terres se transforment en

torrents d'eau boueuse qui inondent les zones basses. Les poissons sont à la merci de cette eau sale.
Si l'eau est utilisée pour l'irrigation, les rigoles s'envasent et, dans le pire des cas, les frais d'entretien augmentent de façon alarmante. Il arrive que la terre aboutisse dans un réservoir en digue, comme par exemple dans le réservoir Shinen à Taïwan qui s'est à moitié envasé en cinq ans, alors qu'il était prévu pour 70 ans.
Comme les conséquences de l'érosion peuvent être désastreuses, les gouvernements sont obligés de faire face au problème.
C'est ainsi que des mesures de conservation du sol sont généralement appliquées dans le bassin versant des digues (Annexe A). Certains paysans obtiennent des prêts pour le reboisement et la construction de terrasses. D'autres ont un besoin si urgent de leur lopin de terre que tout règlement restrictif entraînerait pour eux la famine. Ne pouvant offrir aucune garantie ou presque, ils ont peu de chance d'obtenir un prêt qui leur permettrait d'appliquer des mesures anti-érosives.
La gravité du problème de l'érosion peut se mesurer par la quantité de terre perdue par hectare. Mais ce n'est pas toujours aussi simple. Dans les zones vallonnées en particulier, l'épaisseur de la couche fertile varie de façon considérable d'un endroit à l'autre sur de très petites distances. Il y a rien d'alarmant si l'épaisseur de la couche est de plusieurs mètres. Mais si elle n'a que quelques centimètres avant d'atteindre la couche inférieure ou la roche nue, elle nécessite à tout prix des mesures de protection.
Pour conclure, la gravité du problème d'érosion varie non seulement à l'échelle mondiale, mais aussi à l'échelle locale. Pour deux paysans vivant sur le même versant montagneux, la situation peut être très différente. C'est généralement le groupe social le plus pauvre qui est le plus durement touché par les effets de l'érosion.
On comprend pourquoi dans le rapport des Nations-Unies de 1984 l'érosion est considérée comme la plus grande menace de l'humanité.

2 Comment peut-on voir l'erosion dans le terrain?

Dans le chapitre antérieur, nous avons appris comment l'érosion peut survenir au courant du développement d'une région et même d'un pays. Nous allons essayer maintenant, de montrer comment dans la pratique journalière, les fermiers entrent en contact avec les phénomènes physiques de l'érosion. C'est pour cela que la question de savoir comment on reconnaît l'érosion dans le terrain, est la question la plus importante.
Toujours, quand on essaye de déceler l'érosion dans le terrain, il est important d'avoir en vue le déroulement du processus, les causes l'ayant déclenchée et pourquoi il s'est manifesté à cet endroit précis. C'est seulement après qu'on doit essayer d'observer les phénomènes plus en détail.

En règle générale, on doit donner une attention toute particulière à l'amont de la pente de la même manière qu'a la source de l'eau.
Donc : on se trouve dans une ravine dans laquelle l'eau se collecte. Si on sait d'où vient cette eau, on sait aussi d'où vient l'érosion. C'est en fait une sorte d'avertissement sur l'érosion.
L'énumération suivante donne les phénomènes qui sont produits par l'érosion.
Evidemment d'autres processus peuvent aussi en être la cause. Après tout, la fièvre n'est pas toujours causée par le paludisme!

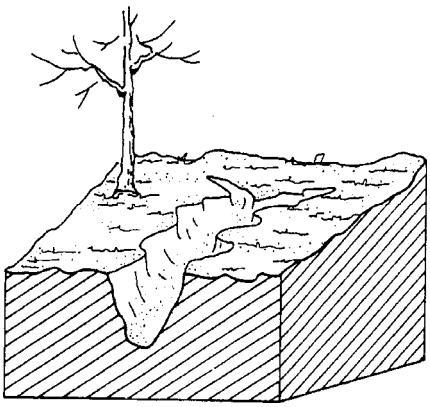


Figure 1 : Ravine.

Les ravines
Sont des entailles profondes et irrégulières du relief, provoquées par l'accumulation et l'écoulement d'une grande quantité d'eau qui doit être évacuée en un temps

court. Leur profondeur peut dépasser parfois plusieurs mètres (figure 1).

Les ravines débutantes ou les ravelines

Sont des ravines peu profondes. Quand plusieurs de ces ravelines sont situées plus ou moins parallèlement sur une courte distance, elles forment un système de ravines.

Les rigoles

Sont des entailles peu profondes du relief (de moins de 30 cm de profondeur) qui ont la forme d'une petite ravine. Fréquemment, elles débouchent dans une ravine et forment un système qui se développe en remontant vers le sommet de la pente.

Terres mauvaises (badlands)

La présence d'un système dense de ravines et ravines débutantes, gêne le déplacement des animaux et des engins agricoles et rend la terre inaccessible.

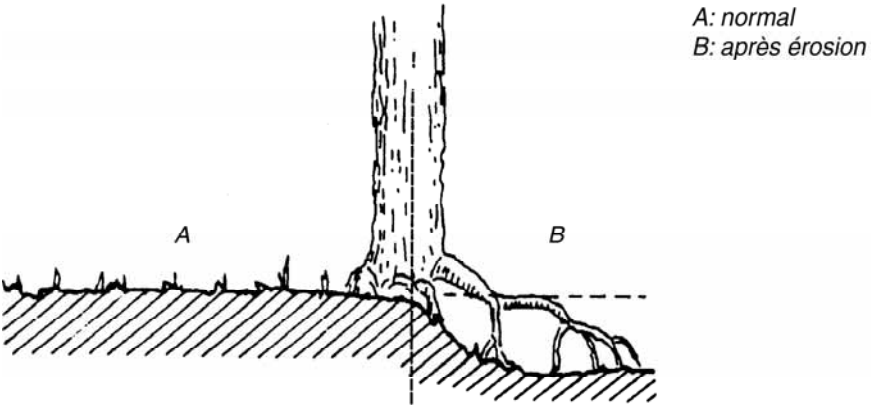


Figure 2 : Système des racines dénudées.

Système des racines dénudées

Les racines des plantes conservent la terre en maintenant la cohésion du sol. Dans le cas des racines d'arbres, ce sont particulièrement les

racines fines qui lient les particules du sol. Si la couche superficielle du sol est enlevée par l'érosion, les racines des plantes sont dénudées.

Pour les cultures annuelles, on peut facilement déterminer la quantité de enlevée par l'érosion dans une période végétative (figure 2).

Piédestal

C'est un restant de sol, en arrière et au-dessous du système racinaire des graminées surtout, des petites pierres et/ou du gravier. Le gravier et les petites pierres gardent le sol contre la force érosive de l'eau de pluie. Au cours du temps, ces pierres se placent sur une butte de sol pour pouvoir exister et le sol qu'elles surmontent est protégé contre l'érosion (figure 3). Spécifique au-dessous de surface de goutte des feuilles (principalement arbes).

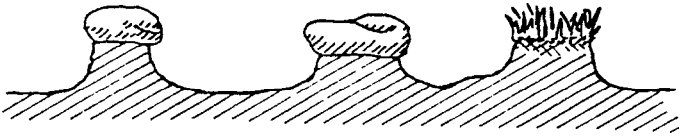


Figure 3 : Piédestal.

Pierres sur la surface du sol

Quand toute une couche superficielle de sol a été enlevée par l'érosion, ce n'est pas que des particules grossières telles que les pierres qui y restent. Les particules les plus fines sont enlevées les premières. Quand le sol est vraiment superficiel et l'érosion très active, la roche-mère peut affleurer à la surface, alors que le sol est complètement enlevé.

L'eau couleur de boue

Si vous voyez une coulée d'eau de couleur jaune, rouge ou brune (couleurs variables en fonction de la couleur du sol) cela signifie que l'eau transporte du sol. Si vous prélevez dans un verre, des échantillons d'eau de diverses parties de cette coulée et que vous les laissez décanter pendant un temps, vous allez voir approximativement combien de sédiments sont transportés. Il est à retenir aussi, que la plupart des

éléments nutritifs du sol, se trouve dans les particules fines qui sont transportées, donc ces éléments nutritifs sont enlevées au sol, qui reste ainsi dépourvu de fertilité (figure 4).

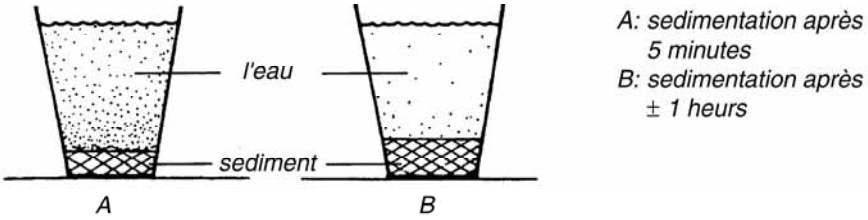


Figure 4 : Eau couleur de boue.

Stratification du sol

Souvent dans le terrain, surtout dans les parties déprimées du relief, vous pouvez voir de fines stratifications de matériaux de sol. Ce sont des sédimentations déposées par l'eau lors de son ruissellement lent ou de son arrêt.

Le même phénomène est visible aussi dans les sillons d'irrigation et matériau sédimente a la même origine. Donc, ces couches fines ne sont rien d'autre que le signe du déroulement d'une certaine forme d'érosion à son début, qui n'enlève pas encore des grandes quantités de terre pour les transporter sur des grandes distances. Mais même dans ce stade du début, l'érosion peut provoquer de grands dégâts à l'agriculture car des fines couches de terre d'une épaisseur de 10 à 30 cm sont suffisantes pour suffoquer et tuer les jeunes plantes qu'elles couvrent, même seulement sur quelques dizaines de m^2 d'une culture (figure 5).

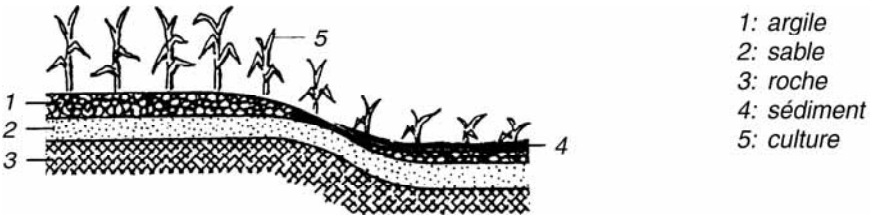


Figure 5 : Sédimentation du matériau de sol.

Quand des minces couches superficielles de sol sont enlevées de façon homogène de la surface de la terre, on parle d'érosion en nappe. Même une très mince couche de sol, une fois transportée au bas de la pente, elle représente une perte importante de sol. Ce sédiment peut arriver aussi dans les cours d'eau dans les fossés et les conduites, comme dans les canaux d'irrigation et de drainage dont il empêche le bon fonctionnement.

Les glissements de terrain

Les glissements de terrain sont fréquents dans les zones à pentes abruptes, par exemple le long des pistes de bétail. Pour diverses raisons, le sol perd sa stabilité et une grande quantité de terre glisse le long de la pente. Le phénomène s'observe aussi quand les parois d'une rigole ont été minées par les eaux de ruissellement. Par ailleurs, les parois escarpées des routes en construction s'effondrent souvent sous l'effet des fortes pluies.

Les exemples décrits ci-dessus, indiquent tous un déplacement de terre. Mais ce n'est pas toujours facile de déceler ce déplacement. Dans certains cas, il se peut qu'une si grande quantité de sol ait été enlevée qu'il n'y reste presque plus de terre. Par le travail du sol, les rigoles par exemple sont aplanies et disparaissent, et une culture peut facilement cacher les dénivellations du sol et les rigoles.
Mais il y en a néanmoins assez de méthodes pour découvrir ce qui s'est passée dans une région.
Pour comparaison de plusieurs terres arables voisines, on peut tirer certaines conclusions. Mais on ne doit pas le faire trop vite, car l'érosion n'empêche pas le développement des plantes.
L'aide de quelques expériences peut être très utile, mais l'observation attentive peut apporter aussi de bons résultats. Ci-dessous nous vous suggérons quelques idées :

- Situez-vous sur la limite entre deux parcelles. Parfois vous pouvez voir qu'une partie du terrain est plus élevée que l'autre (figure 6). Est-ce qu'une partie du sol d'une parcelle a été enlevée, ou est-ce que dans l'autre parcelle, une partie du sol a-t-il été colmaté? Que

doit faire le fermier sur cette parcelle particulière pour le même phénomène n'apparaisse pas aussi sur l'autre?

- Parfois, vous trouvez sur la limite une terre arable et une forêt. Prenez dans vos mains un peu de sol de la terre arable et un peu de sol de la forêt et comparez-les. Regardez la couleur des deux échantillons, leur capacité de se défaire en éléments de structure, la quantité des restes de plantes, l'humidité. Vous allez voir que dans la parcelle non cultivée, la teneur en matière organique est plus élevée. Vous allez voir aussi des différences de structure, d'humidité, etc.
- Dans une même parcelle, les plantes se développent différemment et par conséquent la production d'une parcelle est différente d'une place à l'autre.

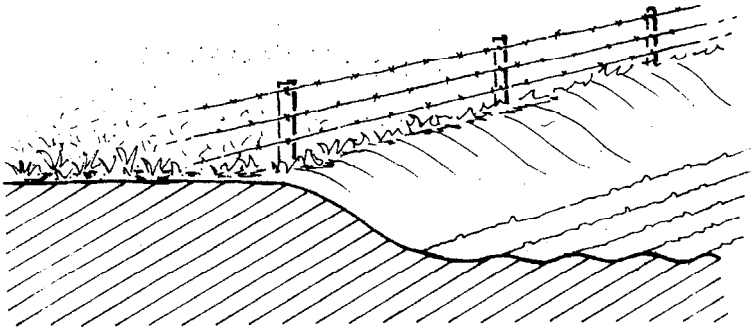


Figure 6 : Différence d'élévation entre deux parcelles.

Dans beaucoup de parcelles il y a des mauvais endroits, mais en général dans la partie supérieure d'une pente, la récolte est toujours plus basse que dans les deux autres tiers. C'est souvent un résultat de l'érosion et la quantité du sol de l'amont de la pente est toujours inférieure à celle de l'aval.

Pour vous rendre compte de cette situation, il est bon d'observer le sol d'une pente, alors qu'il n'est pas encore couvert d'une culture. Vous allez voir que le sol de l'amont a une couleur plus claire. C'est parce-que la couche superficielle plus riche en matière organique et peut-être aussi en argile, a été enlevée par l'érosion. Le résultat immédiat est que ce sol devient aussi plus sec, ce que vous pouvez facilement sentir en prenant dans la main un peu de sol de cet endroit

et un peu de sol du bas de la pente. Ensuite, si vous regardez bien le paysage, un certain nombre de détails qui indiquent la dégradation des sols et de l'environnement ne peuvent pas vous échapper. Par exemple la végétation naturelle est moins riche, il y a un changement des espèces, seulement les plantes moins exigeantes y subsistent. Mais pour bien remarquer ces faits, il faut avoir une bonne base de connaissances et aussi un bon contact avec les populations locales qui connaissent bien leurs terres et les environs. Ceci est absolument nécessaire.

Finalement, toute personne expérimentée reconnaît les signes d'une dégénération générale de l'environnement naturel. Il peut y avoir un changement dans la composition de la végétation, par exemple une réduction du nombre des espèces végétales, due aux exigences plus strictes imposées aux plantes par l'environnement.
Un brusque manque de bois de chauffage à un certain endroit est également un signe que la capacité de charge de cette zone a été dépassée. Quand l'utilisation du bois de chauffage demande trop de temps ou trop d'argent, on utilise souvent la bouse de vache comme combustible pour la préparation des repas. Mais comme ce fumier est indispensable à l'entretien de la qualité du sol, son utilisation comme combustible risque d'entraîner de sérieux problèmes d'érosion.
Une connaissance approfondie du sujet est nécessaire pour pouvoir observer et interpréter ces signes. Il est donc très important de se renseigner auprès de la population locale. Les gens du pays peuvent souvent indiquer les espèces végétales locales en voie de disparition.
Il peut être intéressant de raconter ici ce qui nous est arrivé une fois, alors que nous examinions une couche de sédiments qui s'était déposée entre des plants de sorgho. Nous étions intrigués devant la questions de savoir quelle sorte de terre avait été emportée depuis les hauteurs de la pente. Un paysan remarqua alors poliment que cette terre provenait de l'inondation par une rivière toute proche. Il s'agissait donc bien d'érosion, mais originaire d'un endroit tout différent que celui auquel nous avions pensé. Nous avions été trop rapides dans nos conclusions!

Nous avons tenté ici de démontrer que la compréhension du phénomène de l'érosion exige toujours en premier lieu la recherche de ses causes. Dans les chapitres suivants, nous approfondirons le processus de l'érosion pour vous permettre de mieux comprendre les phénomènes que vous observez.

3 Processus d'érosion

3.1 Comment se forme le processus de l'érosion?

Pour juger de l'utilité des mesures pour la conservation du sol, on doit avoir quelques connaissance sur la manière dont les processus de l'érosion se déroulent. C'est pour cela que la connaissance des facteurs qui déterminent ensemble, l'intensité et la nature de l'érosion est absolument nécessaire. Il existe deux types d'érosion hydrique : l'érosion en nappe et l'érosion en filets. Elles se manifestent le plus souvent ensemble, mais pour rendre les processus plus évidents, nous allons les traiter séparément.

L'érosion en nappe se manifeste comme une conséquence des gouttes de pluie qui détruisent les agrégats dus sol (Annexe 1). Par consequent les particules fines du sol sont mises en liberté. Etant libres, elles vont remplir l'espace entre les particules grossières et vont former à la surface du sol une couche tassée, comme une croûte (figure 7). Cette couche ou croûte a une faible perméabilité pour l'eau et pour l'air. Des problèmes d'infiltration et d'aération en découlent et la croissance des plantes est endommagée. Si la pluie continue, l'eau qui ne peut pas s'infiltrer dans le sol, s'écoule à la surface et enlève ainsi une couche de sol mince, plus ou moins uniforme de sol. Une "nappe" de sol, qui le plus souvent est si mince qu'on ne peut pas le constater visuellement.

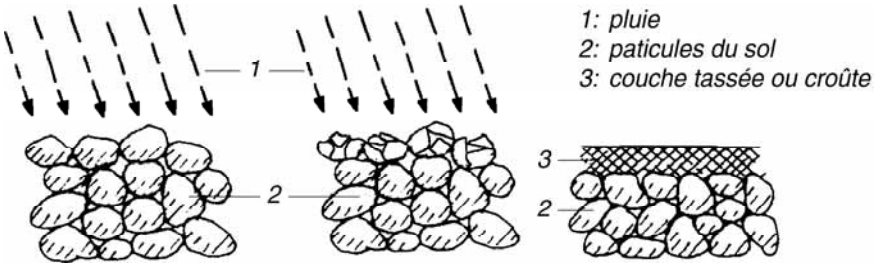


Figure 7 : Erosion en nappe.

L'érosion en nappe se produit principalement quand la surface du champ est lisse et la pente uniforme. Mais la plupart des champs ont une surface irrégulière, avec des endroits rugueux et des endroits lisses. Quand il pleut, l'eau de pluie s'accumule et s'écoule dans les surfaces déprimées, empruntant les lignes de moindre résistance pour descendre la pente. L'écoulement superficiel chemine dans de petites rigoles ou filets qui entaillent le sol en profondeur. Les particules fines libérées sous l'influence de la force des gouttes de pluie ou par le cheminement de l'eau dans les rigoles, sont transportées par la coulée d'eau (figure 8). Dans les endroits où l'eau se collecte son action érosive est plus intense. Elle va creuser et élargir les rigoles et progressivement va entailler le sous-sol et former des ravines de plusieurs mètres de profondeur.

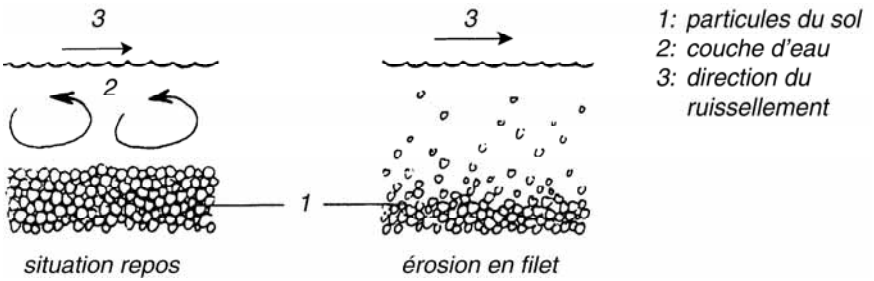


Figure 8 : Érosion en filet.

L'intensité de l'érosion est déterminée, tant par la force avec laquelle l'eau tombe et s'écoule à la surface du sol que par la résistivité du sol en face de cette force violente. Dans l'érosion en nappe, la force des gouttes est déterminée par leur dimension ainsi que par leur vitesse, qui dépendent à leur tour du type de pluie. Si les gouttes ne tombent pas directement sur le sol, mais sont interceptées tout d'abord par la couverture végétale, les plus dangereuses seront celles qui tombent d'une plus grande hauteur, car ce sont elles qui provoquent le choc le plus violent. Vous pouvez bien vous rendre compte de leur force si vous les avez une fois reçues sur la nuque, car ces gouttes agrandies sur le bord d'une feuille d'arbre par exemple, prennent un élan tout particulier pour sauter et ont une grande force.

La capacité de transport de l'eau ruissellente dépend de la vitesse de son courant, de l'inclination et de la longueur de la pente. Plus une pente est accentuée, plus la vitesse de l'eau sera grande et sa force érosive plus intense. Même, si sur une pente longue s'accumule une importante quantité d'eau, sa force érosive sera également grande.
Et enfin, il semble que la force érosive de l'eau de ruissellement augmente considérablement quand les gouttes de pluie tombent dans une couche d'eau de quelques centimètres d'épaisseur.
Dû à sa force érosive, cette eau turbulente transporte en suspension une importante quantité de matériaux de sol, surtout des particules fines qui ont été enlevées au sol évacuées par l'eau. Il apparaît que l'effet combiné de l'érosion en nappe et de l'érosion en filets a des conséquences beaucoup plus graves sur les sols que l'effet que ces deux formes d'érosion causent quand elles sont prises séparément (figure 9).

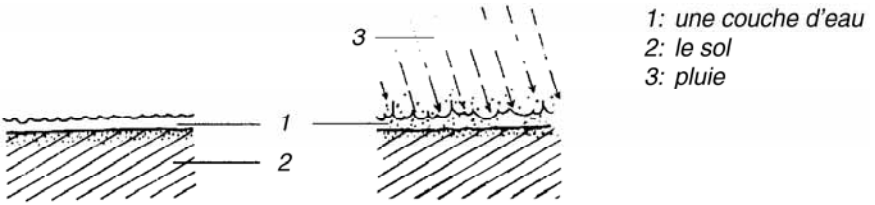


Figure 9 : Érosion en nappe et en filets combinées.

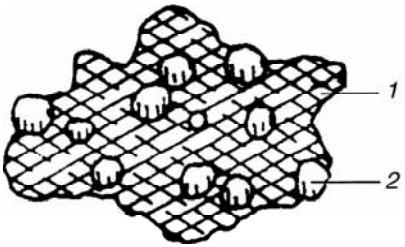
3.2 La relation entre l'érosion et les conditions du sol

Le sol et l'érosion en nappe

Certains sols présentent des éléments structuraux résistants, qui ne peuvent pas ou presque pas, être détruits par le martèlement de la pluie. Par contre, d'autres sols présentent une structure meuble qui se détache facilement sous l'action de la pluie, autrement dit, un sol résiste mieux que l'autre à l'érosion. Cette résistance à l'érosion dépend de :

1 La texture.
   Etant donné que la texture ou la composition granulométrique d'un sol, est une propriété difficilement changeable, nous n'insisterons pas sur ce point.
2 L'état de l'humidité.
   L'état de l'humidité du sol est très différent durant les différentes périodes de l'année. C'est pour cela que, pendant certaines périodes, le sol est plus susceptibles d'être érodé que dans d'autres, et c'est surtout dans ces périodes que l'on doit veiller à protéger le sol.
   Certains sols sont très durs à l'état sec et difficilement labourables. Leurs agrégats structuraux ne se détachent pas facilement sous le martèlement de la pluie. Avec une humidité plus élevée, ces sols sont mieux labourables et leur agrégats structuraux se désintègrent sous l'impact des gouttes de pluie. Le plus souvent, la période pendant laquelle on peut effectuer le labour se situe au début ou à la fin de la saison des pluies. Mais, à ce moment, quand les mottes sont meubles, les gouttes de pluie peuvent vite évacuer du sol les particules fines, qui sont ensuite entraînées par l'eau de ruissellement. Quand le sol est très humide (un état saturé), sa force de résistance contre l'érosion est faible, voir nulle, et la couche superficielle du sol manque de cohérence.
   Il est difficile de dire avec quelle quantité d'humidité les phénomènes décrits vont se manifester. D'un sol à l'autre, la situation est très différente. Il se peut que des sols qui présentent des agrégats structuraux bien développés et durs avant la pluie, se transforment après de fortes pluies, dans une purée boueuse.
   C'est pour cela que le meilleur conseil qu'on puisse vous donner, c'est celui de bien regarder autour, et d'observer comment les différents sols réagissent aux pluies et surtout aux pluies fortes. Ainsi, vous pourrez vous rendre compte de la résistivité de vos sols. Peut-être un test tactile simple de manipulation pour déterminer la texture (Annexe A), vous donnera-t-il des indices sur le type de sol avec lequel vous travaillez.
3 La teneur en matière organique.
   La matière organique constitue le lien le plus efficace des particules des sols. Plus un sol a une teneur élevée en matière organique,

moins l'érosion sera active. L'argile, la chaux et le fer, constituent eux aussi des liens, mais la matière organique est en plus le facteur déterminant de la fertilité (figure 10). Quand par l'érosion, ces liens du sol sont enlevés et transportés par l'eau de ruissellement, la stabilité du sol diminue et il devient encore plus érodable. Donc, c'est très important d'empêcher l'erosion.



1: argile, matière organique, carbonates
2: grains de sable

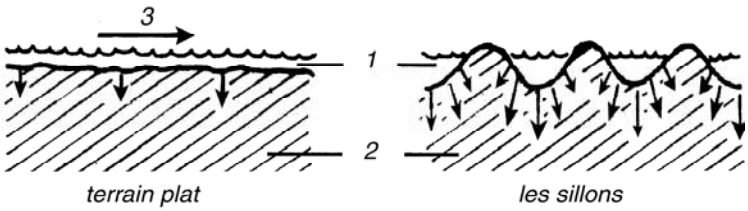
Figure 10 : Composition des particules du sol.

Le sol et l'érosion en filets

L'érosion en filets est la capacité de l'eau ruissellante d'arracher les particules de terre et de les charrier. Dans certains sols argileux, les particules de terre ne sont pas arrachées mais la couche arable est dissoute dans l'eau, formant une suspension qui se transporte dans l'eau ruissellante. La vitesse du courant nécessaire pour le transport de cette suspension argileuse est presque nulle, ce qui peut être démontré par le temps nécessaire après une averse pour que l'eau stagnante perde sa couleur brune et devienne parfaitement limpide. Pour la même raison, la couche supérieure du matériel sédimentaire est toujours de composition très fine. Les particules les plus fines sont emportées petit à petit et le champ devient de plus en plus pierreux. Si des mesures ne sont pas prises à temps, cette forte "capacité de charriage" de l'eau risque de provoquer d'énormes dégâts.

Plus l'eau coule vite, plus sa force d'érosion est grande. La vitesse du courant augmente lorsque la résistance du sol au ruissellement diminue, c'est-à-dire lorsque la surface du sol est lisse. Autrement dit, une surface de sol accidentée freine l'érosion en filets. Des obstacles comme des tiges de plantes, des pierres ou un mulch augmentent aussi la résistance au ruissellement.

Pour éviter l'érosion en filets, il faut empêcher le ruissellement. De plus, l'eau ne doit pas pouvoir s'accumuler, car de grandes quantités d'eau impliquent des dangers potentiels.
L'eau qui n'atteint pas le niveau de ruissellement ne provoque pas d'érosion en filets mais profite à la croissance végétale lorsqu'elle peut s'infiltrer dans le sol. Un sol friable absorbe une quantité d'eau beaucoup plus grande qu'une couche arable lisse.
Dans les sillons de cette terre, une grande quantité d'eau peut s'infiltrer et s'accumuler avant qu'elle ne s'écoule en bas (figure 11). Evidemment, la capacité d'infiltration (Annexe 1) ne dépend pas seulement de la rugosité du sol. La composition granulométrique du sol (sableux à argileux), la teneur en matière organique, la faune du sol, jouent aussi un rôle important. Le rôle de la faune du sol est dans la plupart des cas négligé, mais nous soulignons que la présence d'une vie saine dans le sol est une indication du bon état de la fertilité du sol.



1: infiltration de l'eau
2: le sol
3: direction du ruissellement

Figure 11 : Ruissellement sur un terrain plat et infiltration de l'eau dans les sillons.

3.3 Effet combiné de l'érosion en nappe et l'érosion en filets

Pour montrer comment les deux formes de l'érosion s'influencent réciproquement, l'exemple suivant est illustratif :

Supposons qu'une pluie torrentielle vous surprenne sur le terrain. A l'abri dans la voiture, vous entendez le martèlement des gouttes de pluie sur le toit.
Cela vous donne une idée de la force avec laquelle les gouttes de pluie fouettent le sol. Sortez ensuite au dehors. C'est moins confortable, mais plus intéressant à voir. Le toit de la voiture, si furieusement martèlé par les gouttes de pluie est intact, grâce à sa nature métallique. Mais le sol, surtout là où il est dépourvu de végétation, montre une surface littéralement imperméable, dont la structure est détruite et les pores violemment fermés.
Mettez sur le sol une pièce de monnaie et laissez-la un certain temps. Entretemps, vous pouvez aller voir d'autres phénomènes.
Sur les superficies où le sol est préservé de l'attaque directe des gouttes de pluie (par une couverture de plantes ou de pierres) la structure du sol est moins détruite que dans les superficies dénudées. La surface du sol est encore perméable, les pores ne sont pas encore obstrués par les particules fines libérées et l'eau peut s'infiltrer dans le sol.
Pour remarquer avec quelle force les gouttes de pluie frappent le sol, regardez les gouttes qui tombent d'une plante de haute taille. Dans l'endroit où la goutte d'eau tombe il y aura un petit trou. Regardez aussi la tige d'une plante ou un coté de la voiture, et remarquez jusqu'à quelle hauteur les particules de sol sont jetées sous l'attaque des gouttes de pluie. Une feuille de papier blanc tenue en position verticale, vous aidera à voir combien de particules de sol sont déplacées. Et enfin, si vous retournez à l'endroit où vous avez placé la pièce de monnaie, vous allez voir qu'elle est maintenant plus élevée que son alleutour de quelques mm. Et qu'autour d'elle, non seulement le sol est tassé (ce que limite l'infiltration de l'eau), mais aussi que des particules fines de terre sont en train d'être évacuées.
Ce qui est important de comprendre c'est que cette très mince couche de sol en train d'être évacué une fois transportée au bas de la pente peut représenter une grande quantité de sol fertile perdue. Et que aussi, au moment où l'eau s'accumule et s'écoule, elle va commencer à creuser et élargir son chemin. Ainsi l'érosion en nappe se combine avec l'érosion en filets. Pour compléter l'image de la quantité de sol ainsi enlevée tenez dans un verre d'eau cette eau trouble de ruisselle-

ment. Mettez-le après en position verticale et donnez le temps aux particules de se décanter.
Après cela, nous pensons que vous êtes resté suffisamment dans la pluie et qu'il est temps d'aller vous sécher dans la voiture. Là, vous allez pouvoir mettre en ordre les observations faites, ainsi que décider si la pluie à laquelle vous avez assisté est une des pluies normales de cette région, ou si vous pouvez attendre à des ondées plus fortes, d'une durée et d'une intensité plus brutale qui provoqueront des dégâts encore plus grands.

3.4 Les principes de la lutte contre l'érosion

En connaissant les causes de l'érosion, l'évolution du processus et les relations entre l'érosion et l'état du sol, on peut choisir les mesures d'amélioration. En résumant, les mesures de lutte contre l'érosion sont toujours basées sur les principes suivants :

- La réduction de la force de l'impact des gouttes de pluies, c'est-à-dire la protection du sol contre la violence directe de la pluie.
- L'amélioration de la stabilité (ou résistance) du sol, c'est-à-dire du degré auquel le sol conserve sa structure malgré l'impact de la pluie.
- La réduction de la quantité d'eau entraînant le ruissellement, ce qui permet une meilleure infiltration de l'eau dans le sol.
- La réduction de la vitesse de l'eau et le contrôle de l'évacuation des eaux de ruissellement.

Avec ces principes en mémoire, vous pouvez choisir les mesures qui sont décrites dans les chapitres 5, 6 et 7, et estimer leur efficacité.
La présence d'une culture qui couvre bien le sol est un moyen efficace de lutte contre l'érosion. Premièrement, elle diminue la force de l'attaque des gouttes de pluie. Deuxièmement, elle diminue la vitesse de l'eau de ruissellement et enfin, elle augmente la stabilité du sol, sa perméabilité et comme conséquence la capacité d'infiltration de l'eau.

Par les restes de plantes qui demeurent dans le sol après la récolte, cette culture contribue à l'enrichissement du sol en matière organique :

- La matière organique contribue à la fise ation des du sol en agrégats appelés grumeaux qui résistent mieux à l'attaque des gouttes de pluie. Ainsi, le danger de la formation d'une croûte diminue.
- La matière organique contribue à l'augmentation de l'activité biologique dans le sol et favorise la formation plus rapide de l'humus à partir de la matière organiques. Ainsi le sol devient plus poreux, plus perméable pour l'eau et pour l'air et offre une bonne base d'enracinement aux plantes.
- En augmentant la capacité d'infiltration de l'eau, l'humus augmente aussi la capacité de rétention de l'eau du sol, ce qui veut dire que les plantes auront l'eau nécessaire à leur croissance. Ainsi le ruissellement superficiel diminue, et une plus grande quantité d'eau reste disponible pour les plantes.

4 Les consequences de l'érosion sur l'agriculture

4.1 Introduction

Dans le chapitre 2 nous avons indiqué à l'aide de quelques exemples, comment on peut observer l'érosion dans le terrain, et dans chapitre 3, nous avons défini le processus de l'érosion et l'avons illustré à l'aide de quelques expériences simples.
C'était une introduction nécessaire pour comprendre la gravité des conséquences de l'érosion sur l'agriculture. Tout changement que vous observez dans le terrain, conséquence de l'érosion, peut avoir des effets fâcheux sur l'agriculture.
Commençons par l'exemple des petites rigoles qui conduisent l'écoulement superficiel de l'eau et qui entaillent le sol sur plusieurs centimètres de profondeur. Elles sont suffisamment petites pour pouvoir être aplanies au moyen de méthodes normales de préparation du sol. Néanmoins, cela coûte du temps et des efforts. Mais dès que les rigoles sont laissées à elles-mêmes, elles vont se creuser et s'élargir progressivement, jusqu'à ce qu'elles entaillent le sous-sol et forment des ravines qui ne peuvent plus s'aplanir au moyen d'une charrue ou d'un engin à disques. Et si ces ravines forment un système, la terre n'est plus accessible. Elle devient une terre mauvaise (badland) et sort du circuit agricol.
Les exemples qui suivent essayent de montrer comment dans la pratique journalière un fermier est affecté par les conséquence de l'érosion.

4.2 Les conséquences sur le sol

Généralement quand on pense aux effets de l'érosion sur le sol, on s'imagine souvent des ravines spectaculaires. Mais à coté de ces formes importantes et catastrophiques, il y a aussi d'autres effets, moins visibles, mais très fâcheux. Nous considérons deux de ces derniers effets, très importants pour l'agriculture et nous allons les discuter dans ce qui suit :

- La diminution de la capacité de rétention de l'eau.
  Par érosion, la capacité d'infiltration et de rétention de l'eau diminue. Par conséquent la disponibilité en eau pour les plantes est réduite et les plantes souffrent de la soif. La saison de croissance est ainsi raccourcie et les cultures qui ont un cycle végétatif relativement long, souffrent à cause de la sécheresse. Certaines d'entre elles, vont donner des récoltes pauvres et d'autres, plus sensibles, ne vont même pas survivre. Ainsi, dans ces conditions, le fermier sera-t-il obligé de cultiver seulement des plantes résistantes à la sécheresse ou avec un court cycle végétatif, ce qui signifie une réduction importante dans la gamme des cultures à choisir.
- La perte d'éléments nutritifs.
  Dans les régions à forte pluviométrie, la diminution de la capacité de rétention de l'eau peut avoir comme conséquence le lessivage d'éléments nutritifs. Etant donné qu'une partie de l'eau infiltrée dans le sol n'est pas retenue par lui, elle s'écoule vers la profondeur ou dans la nappe aquifère. En même temps avec l'eau, une partie des éléments nutritifs dissous dans l'eau du sol se perdent et deviennent ainsi inaccessibles aux racines des plantes. Tout cela va conduire évidement à la perte de la récolte.
  Les plantes à système racinaire profond jouissent d'une situation privilégiée et surtout les arbres qui peuvent profiter de la présence de ces éléments nutritifs dans les couches profondes. Ainsi, le circuit d'éléments nutritifs est fermé (figure 12). Une bonne rotation des cultures (assolement) peut limiter aussi le lessivage d'éléments nutritifs. Premièrement parce-que les différentes plantes ont des systèmes d'enracinement différents, et deuxièmement parce-que les diverses plantes ont des exigences différentes vis-à-vis des éléments nutritifs présents dans le sol, qu'elles absorbent sélectivement.

4.3 Conséquences sur la gestion d'une ferme

Le paysan prend conscience du problème de l'érosion lorsqu'il constate une baisse des rendements agricoles, mais aussi au cours de son travail quotidien. Evidemment, ces effets ne sont pas les mêmes partout. Voici quelques exemples.

La terre arrachée d'un champ risque de boucher des canaux de dérivation ou de recouvrir une culture à un autre endroit. S'il faut enlever toute la terre envasée, cela fait du travail supplémentaire.
L'inverse s'applique évidemment dans le champ même : il faut recouvrir les racines dénudées, remettre en état le réseau de canalisation et empêcher l'eau de couler directement dans les cultures, labourer ou combler les rigoles indésirables. Si toutes les plantes ont été emportées, il faudra ressemer. La question reste de savoir si la culture aura assez de temps pour fournir une récolte.

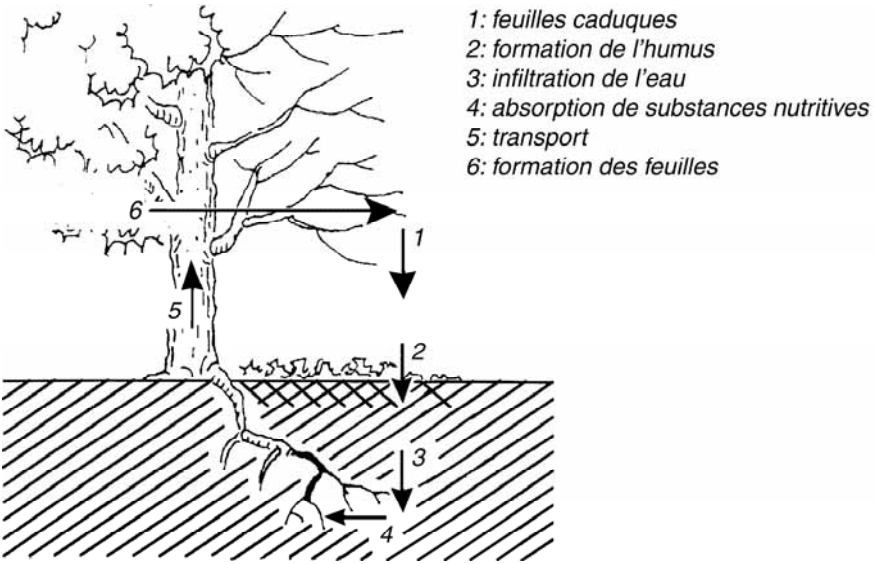


Figure 12 : Evolution cyclique des substances nutritives.

Dans les zones où deux cultures peuvent être pratiquées successivement, le problème se pose différemment. La seconde culture ne réussira que si elle est plantée à temps. Le paysan doit donc décider à quoi donner la préférence. Il peut semer plus tard la première culture (alimentaire par exemple) et ne pas compter cette année-là sur un revenu du second produit (par exemple le coton, avec un risque de rupture de contrat s'il n'est pas livré à l'usine). Il peut aussi choisir de semer une culture commerciale au dépens d'un produit alimentaire. Dans ce cas,

le problème est de savoir combien d'argent il lui restera pour la nourriture. Ces facteurs entraînent des coûts supplémentaires sous forme de semences et de main-d'œuvre supplémentaire.

Mais, pendant les périodes de travail intense (généralement pendant le labour et la récolte), le paysan n'a pas le temps de chercher de la main-d'œuvre supplémentaire et il est obligé par exemple de semer sur une surface plus petite. Si l'érosion continue à emporter de fines couches de terre, le champ devient de plus en plus pierreux. Il sera de plus en plus difficile à labourer et il faudra engager de la main-d'œuvre extérieure pour qu'il soit prêt à temps. Plus il y a de gens dans la même situation, plus le coût de la main-d'œuvre augmente. En fait, de nombreux paysans ne peuvent pas se permettre cette dépense supplémentaire.
Les sols ne peuvent être cultivés que s'ils atteignent un certain niveau d'humidité. Les sols secs sont trop durs et les sols détrempés sont difficiles à travailler.
Si l'érosion provoque la détérioration du sol, la sécheresse et, plus souvent encore la trop grande humidité du sol risquent de devenir des problèmes chroniques. Autrement dit, le temps déjà limité pour le labour et les semailles est encore réduit. Par conséquent, il faut soit cultiver une surface plus petite, soit embaucher de la main-d'œuvre coûteuse.
Disons pour conclure que l'érosion provoque une baisse des rendements et une augmentation des frais. Il ne reste au paysan que les possibilités suivantes :

- Chercher du travail ailleurs pour compléter ses revenus et ses réserves alimentaires. Dans la pratique cependant, les "homelands" et les Etats en crise du sud de l'Afrique ont montré que la main-d'œuvre paysanne manque justement aux moments cruciaux (périodes de travail intense), ce qui menace souvent la production alimentaire.
- Aller s'installer en ville ou dans une zone voisine où il recommencera à zéro jusqu'à l'épuisement presque total de la bonne terre.

Comme on l'a vu, un grand choix de cultures est possible si la qualité de la terre est stable. Cela permet une diversification des activités (dif-

férentes périodes de croissance, différents moments de semailles, etc.). Un bon exemple de polyculture est le "système paysan", c'est-à-dire les jardins de case où sont cultivés les fruits et les légumes les plus divers. Les femmes surtout passent là de nombreuses heures, entre les autres activités. Cela devrait suffire au moins à écarter la faim au cas où la culture principale viendrait à échouer.

Cependant, si les réserves de bois de chauffage se raréfient (un problème presque universel) et si la collecte du combustible prend beaucoup de temps, les réserves alimentaires seront menacées car les femmes auront moins de temps à consacrer à leur jardin.

Pour remplacer le bois de chauffage, on utilise souvent la bouse de vache. L'effet de la bouse sur la fertilité du sol est bien connu, mais on n'a pas d'autre choix.

La bouse étant devenue un produit très demandé en raison du manque de combustible, les femmes se voient chargées d'une nouvelle tâche, à savoir la vente de ce produit populaire.

On peut donc conclure que l'érosion a un effet négatif sur les rendements agricoles, les dépenses, le calendrier des travaux, le choix des cultures et la position de la femme, le tout dans une perspective générale de pauvreté et de famine.

5 Protection des cultures

5.1 Introduction

Par protection des cultures, nous comprenons l'ensemble des mesures destinées à la conservation des sols qui sont reliées à l'agriculture. Elles regardent donc, aussi bien le développement des cultures que le travail du sol.

En considérant que les terres agricoles sont une partie de l'environnement, les mesures de protection doivent être toujours envisagées en prenant en considération tout l'environnement. Il est connu par exemple, que défricher une forêt ou planter des arbres, a des actions ayant de fortes répercussions sur les terres arables. De même, la fumure du bétail, est un engrais précieux pour la terre arable voisine.

Les mesures de protection agricole jouent un rôle clef dans la lutte contre l'érosion du sol. Premièrement parce-qu'elles peuvent être réalisées avec facilité et coûts réduits. Deuxièmement parce-que les résultats ne se laissent pas attendre et qu'elles assurent le succès des mesures techniques curatives ultérieures (voir chapitre 7).

Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu général des plus connues mesures de protection. L'agriculture suivant les courbes de niveau, et l'agriculture en bandes, ont comme but de réduire l'eau de ruissellement ainsi que conserver le plus possible d'eau dans le sol.

La limitation des travaux du sol, le mulch, et l'utilisation des couvertures ont comme but de protéger le sol de l'impact de la pluie et en même temps de maintenir et d'augmenter la fertilité.

La fertilisation doit mener à un bon développement des cultures, qui ainsi, résistent mieux à l'érosion.

Les cultures doubles réalisent une bonne utilisation du sol et une croissance optimale des plantes conséquence d'une utilisation optimale de la lumière, de l'eau et des substances nutritives disponibles. L'érosion reçoit dans ce cas, une chance minime de développement.

A part les principes et la mise en oeuvre des mesures de protection mentionnées, nous allons aussi indiquer dans ce chapitre quelques problèmes qui peuvent arriver quand on applique une certaine mesure de protection.

Evidemment nous ne pouvons pas donner des conseils conorets d'exécutions. C'est à vous de trouver quand et comment certaines mesures doivent être prises.
Pour une culture double par exemple, c'est à vous de décider de la combinaison appropriée des plantes, de la couche de mulch dont vous devrez apprécier l'épaisseur et la composition. Une discussion avec les populations locales et les officiels de la région, pourra vous aider dans votre travail. Vous profiterez de leur expérience et votre chance de réussite augmentera.

5.2 La culture suivant les courbes de niveau

La culture suivant les courbes de niveau est une technique de conservation comprenant labour et plantation des cultures à angle droit par rapport à la pente, en suivant les courbes de niveau du terrain.

Buts :

- Eviter que l'eau ruisselle vers le bas de la pente (figure 13).
- Augmenter l'infiltration de l'eau dans le sol.

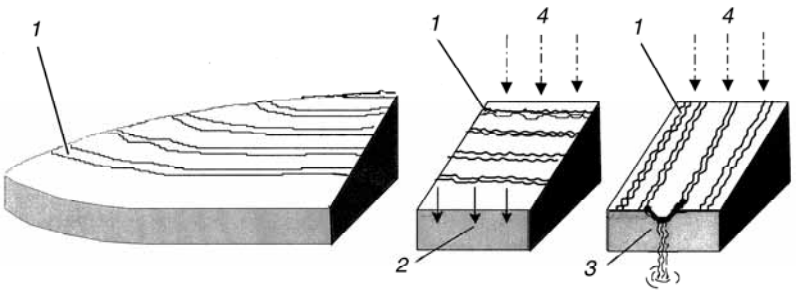


Figure 13 : Culture suivant les courbes de niveau.

Application :

Normalement la culture suivant les courbes de niveau s'applique sur des pentes qui ne dépassent pas 10%, mais qui ont une longueur de

plus de 100 mètres. C'est une mesure simple et efficace qui peut être combinée avec la construction de terrasses et avec la culture en bandes pour en augmenter l'efficacité.

Exécution :
Avant de commencer le labour, un nombre de mesures topographiques utilisant des points d'orientation permanents doivent être effectués (Annexe 2).

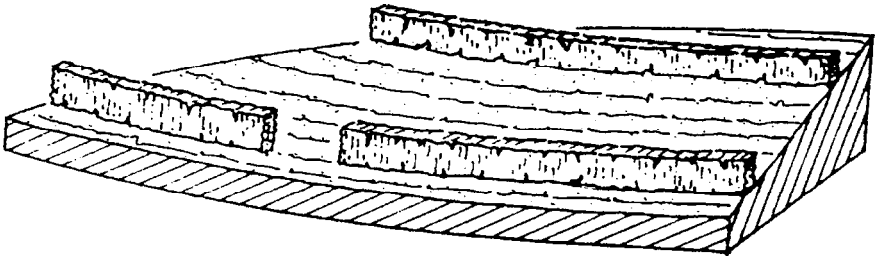


Figure 14 : Haies suivant les courbes de niveau.

Pour cela, les sillons doivent être aussi horizontaux que possible. Cependant, on constate que cela ne donne pas de bons résultats. L'eau peut s'accumuler à un point légèrement plus bas et endommager le sillon ainsi que ceux situés plus bas. Les conséquences peuvent être désastreuses. Il est donc préférable de creuser les sillons à un angle d'environ 1%, afin de pouvoir recueillir l'eau de ruissellement et de l'évacuer au moyen d'un canal de drainage. Le sillon ne doit pas avoir plus de 100 mètres de longueur, si l'on veut éviter les inondations et réduire la vitesse du courant. On peut utiliser des canaux de drainage, à condition qu'ils soient protégés par une couverture végétale.
Des diguettes de terre construites à intervalles réguliers dans les sillons permettent de contrôler la vitesse de l'eau. Ce système est connu sous le nom de "ridging tied" (figure 15). Si les pluies ne sont pas trop fortes, toute l'eau s'infiltrera dans le sol. Cette méthode est efficace dans les zones sèches.

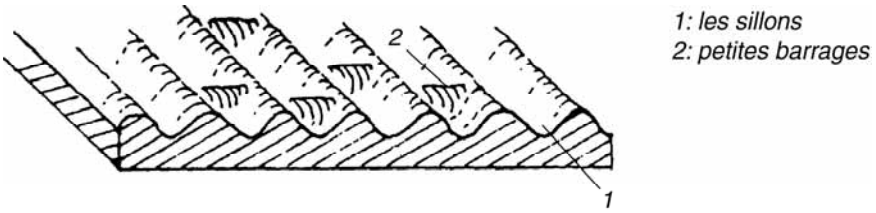


Figure 15 : Tied-ridging.

Inconvénients éventuels :

- Par un emplacement défectueux des sillons et des billons, l'eau peut se concentrer dans certains endroits et une fois le billon cassé l'érosion accélérée est déclenchée et le danger de ravinement est imminent.
- La culture suivant les courbes de niveau peut devenir dangereuse si :
  1 Le sol a une vitesse d'infiltration (Annexe 1) très réduite. C'est le cas des sols très lourds ou ayant des couches dures dans le profil.
  2 Le sol a une capacité d'infiltration (Annexe 1) réduite. C'est le cas des sols superficiels ou ayant des couches imperméables.

  Dans les deux situations, il y aura une concentration de l'eau et donc un risque de déclenchement du ravinement.
- Si les pentes sont irrégulières, la culture suivant les courbes de niveau n'est plus possible et elle doit être associée ou remplacée par la culture en bandes.
- Les meilleurs résultats ont été obtenus quand les champs étaient en pente uniforme dans une ou deux directions.

5.3 La culture en bandes et l'amélioration en bandes

La culture en bandes est un système de culture dans laquelle les bandes d'une culture donnée, comme le maïs, alternent sur le flanc d'une colline avec des bandes de végétation plus dense, comme de petites céréales, du gazon ou une légumineuse. Une bonne partie du sol en-

traîné par l'eau, et lessivé est prise au piège par la bande de végétation plus dense qui pousse au-dessous.
Dans le cas de l'amélioration en bandes, on garde la végétation originelle dans les endroits où le risque d'érosion est plus marquée et on défriche alternativement les bandes. Ainsi des bandes bien protégées contre l'érosion, alternent avec d'autres, moins protégées (figure 16).

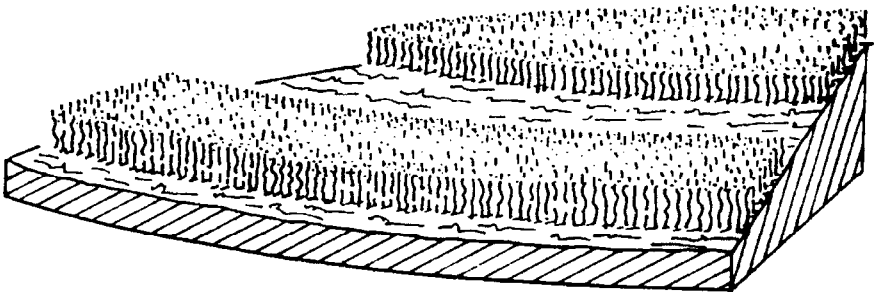


Figure 16 : Culture en bandes.

Buts :

- Arrêter l'eau de ruissellement venant de la parcelle moins gardée contre l'érosion; augmenter l'infiltration de l'eau dans la parcelle protégée par une végétation dense piégée et fixer les particules du sol en suspension dans l'eau de ruissellement, protéger la bande sous-jacente.
- Utiliser les bandes de protection à végétation dense comme source de nourriture pour le bétail et/ou mulch.

Application :

La culture en bandes s'applique sur les pentes dont l'inclinaison ne réclame pas encore la construction de terrasses, les pentes de 15 à 20%. C'est une culture économique se réalisant à bas prix et sans connaissances techniques spéciales.

Exécution :

- Alternance de cultures qui ne protégent pas le sol avec des cultures protectrices. La meilleure protection est donnée par le mélange d'une graminée avec environ 25% de légumineuses. C'est un mélange qui a en plus, une valeur nutritive élevée pour le bétail.
  Des plantes de grande culture, qui forment une couverture dense sur le sol, comme les céréales, protégent également bien le sol contre l'érosion.
- Défrichement en bandes pour mise en culture. Défrichement alternatif qui comporte le défrichement d'une bande de végétation naturelle dans le but de la protection contre l'érosion.
- Alternance de cultures avec une haie qu'on peut utiliser aussi pour la récolte des fruits ou/et comme nourriture du bétail ou mulch.

La largeur des bandes doit être établie en fonction du gradient de la pente et de la capacité d'infiltration du sol, de façon que la vitesse de ruissellement de l'eau à travers les bandes n'attegne pas une vitesse qui provoquerait l'érosion érosive. La largeur des bandes de graminées-legumineuses, dépend de la "correction" qu'on doit réaliser, c'est à dire de la nécessité d'arrêter complètement l'eau de ruissellement dans ces bandes, ainsi que les bandes d'en bas en reçoivent plus que l'eau de la pluie.

Comme normes pour la largeur des bandes; les dimensions suivantes sont à suivre :

- pente de 0-2% largeur de 40 à 50 mètres
- pente de 2-4% largeur de 30 à 40 mètres
- pente > 4% largeur de 15 à 30 mètres
- dans les régions très humides largeur de 15 à 30 mètres

On voit donc, que la largeur des bandes est conditionnée aussi par les précipitations. Une collaboration entre les fermiers est désirable pour un bon établissement de la largeur et la longueur des bandes.
En procédant à l'installation des bandes on doit faire coïncider la bordure d'une bande avec la courbe de niveau. Mais comme souvent la pente est irrégulière, cela signifie que la largeur de la bande sera diffé-

rente, ce qui pose des problèmes à la mécanisation. Pour éviter ces inconvénients on donne à la bande cultivée une largeur égale et on corrige l'irrégularité de la pente avec la largeur de la bande tampon engazonnée. Sur les pentes sans mécanisation, cet aspect n'est pas très important. La culture en bandes est combinée dans la plupart des cas avec la rotation des cultures dont nous allons parler plus en détail dans chapitre 6. Une illustration de culture en bandes est illustrée dans la figure 17, qui présente un exemple de Nigérie.

La culture d'arachide, qui protége le sol est suivi par le blé qui profite de l'azote fixé par l'arachide. Après suit le coton qui n'assure pas un couvert adéquat contre l'érosion. Après trois années de cultures, suivent trois années de jachère.

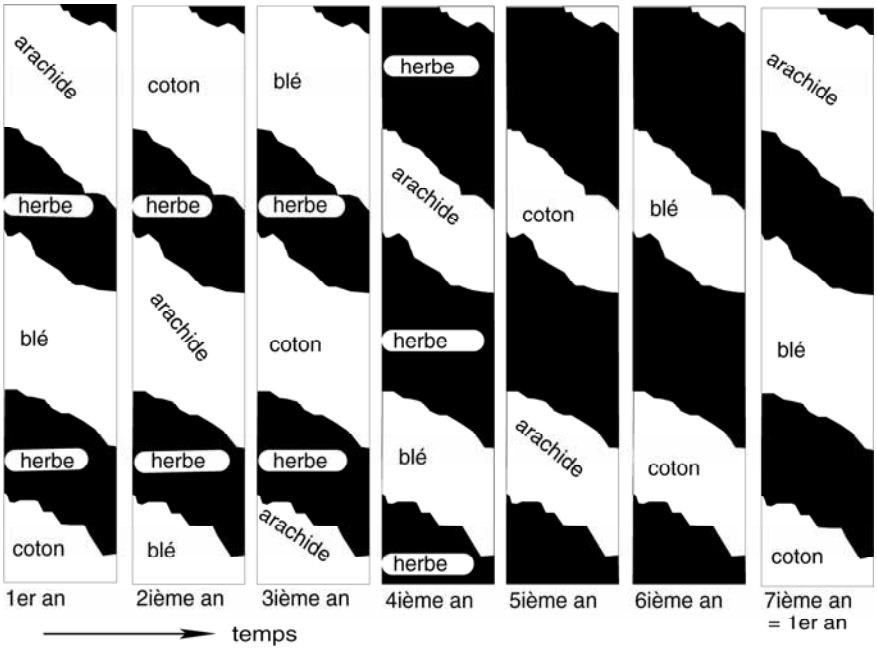


Figure 17 : Rotation des cultures dans le cas de cultures en bandes.

Inconvénients éventuels :
Un inconvénient important de la culture en bandes est qu'une grande partie de la terre est exclue à l'agriculture (environ la moitié de la surface réelle). Cela ne signifie pourtant pas, qu'on n'obtiendroi que la moitié des produits. Les bandes tampon peuvent être utilisées comme source de mulch pour augmenter la récolte des bandes cultivées, et peuvent également être utilisées comme source de nourriture pour le bétail (surtout dans le cas du mélange graminées-legumineuses). Dans ce dernier cas la culture de couverture peut-être pâturée par les animaux, en faisant attention de ne pas la détruire ou, elle peut-être coupée pour en faire du foin ou des ensilages.

5.4 Limitation des pratiques culturales

Dans ce qui suit nous allons parler de ce qui est connu dans la littérature sous le nom de pratiques culturales nulles ("no till" ou "zéro tillage" en anglais) ou pratiques culturales réduites ou minimes.
Par "zéro tillage" on entend une pratique culturale qui consiste à planter une culture qui recouvre le sol, une céréale par exemple, que l'on récolte en laissant les chaumes dans le champs, après quoi l'on sème à travers les chaumes la culture suivante. Le sol n'est ni labouré, mais laissé autant que possible intact.
Par "minimum tillage" on entend une culture plantée avec un minimum de tra-vail. Par exemple les semences de maïs sont plantées dans des trous faits à la houe à une certaine distance l'un de l'autre, dans la savane.

Buts :
- Empêcher que le matériau meuble du sol soit entraîné par l'érosion en nappe. On essaye donc d'éviter de libérer trop de particules meubles par la mobilisation du sol par le labour.
- Empêcher l'écoulement d'eau sur des surfaces lisses, sensibles à l'érosion.
- Epargner de la main d'oeuvre, qui surtout dans des périodes intenses de travail, peut-être utilisée dans d'autres secteurs.

Application :
Les pratiques culturales nulles sont importantes surtout la où le travail du sol peut avoir des effets négatifs, par la formation d'une croûte par exemple. Suivent ensuite, les cas des sols difficilement labourables, ou ayant une couche à enracinement dense, difficile à percer. Ces mesures sont souvent combinées avec les cultures en bandes et la construction de terrasses.

Exécution :
Le souci principal pour la protection du sol contre l'érosion en nappe, dans l'époque la plus dangereuse (c'est à dire entre le labour du sol et le moment où le sol est recouvert par une culture), est de garder sur le sol les restes de l'ancienne culture. Pour cela, ou détruit seulement la végétation qui est autour des plantes de culture (figure 18) et on empêche la concurrence de la végétation restante au moyen d'herbicides.

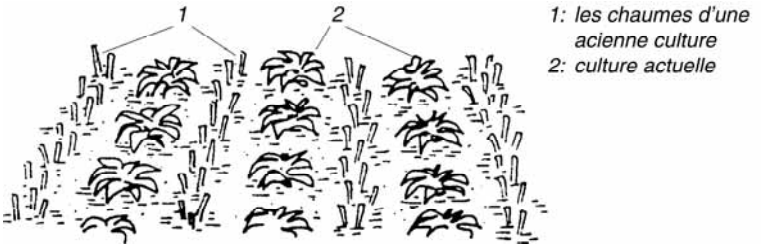


Figure 18 : Culture à travers les chaumes d'une ancienne culture.

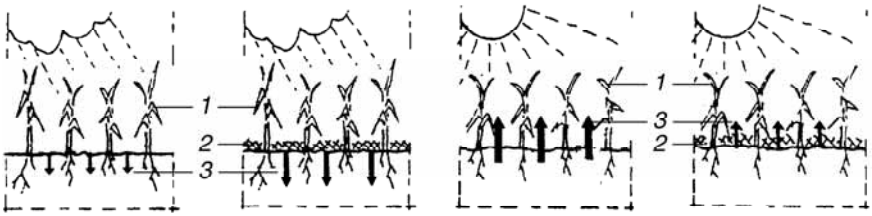
Dans le cas du "strip-tillage", c'est seulement la bande étroite destinée à la culture des plantes en ligne qu'on laboure. Le "minimum tillage" est utilisée aussi dans le "relay-cropping" où la nouvelle culture est déjà semée avant que la précédente ne soit récoltée. La rotation des cultures peut ainsi être appliquée.

Inconvénients éventuels :
- La végétation existante dans le champs utilise une partie de l'eau nécessaire à la culture "utile". L'utilisation d'herbicide peut résoudre le problème.

- Dans les résidus des cultures, un nombre d'insectes nuisibles peuvent se développer. Ils doivent être détruits au moyen d'insecticides.
- Une fertilisation à dose élevée d'azote est nécessaire pour stimuler l'humification de la matière organique.

5.5 Le mulch et le paillage

Le mulch, c'est l'application sur la surface du sol d'une couverture de végétaux morts ou d'autres matériaux apportés, pour le protéger contre l'érosion. Le mulch naturel (débris de chaumes ou le stubble mulching), est une mesure pour garder le sol couvert de végétaux vivants, restes de la culture précédente. La mobilisation du sol ne s'effectue dans ce cas qu'au niveau de la couche superficielle sans la retourner, dans le but d'augmenter l'infiltration de l'eau.



A: Amélioration de l'infiltration.

1: culture
2: mulch
3: infiltration

B: Limitation de l'évaporation.

1: culture
2: mulch
3: évaporation

Figure 19 : Paillage.

Buts :

- Protection du sol pendant le temps où il n'est pas couvert d'une culture (limitation de l'érosion en nappe et en filets, étant donné que le mulch empêche le tassement de la terre et l'encroûtement, limitation de l'écoulement d'eau chargée des particules en suspension).
- Limitation de l'évaporation (due à la couche de mulch même, comme à l'inhibition du développement des mauvaises herbes).

- Amélioration de la structure du sol, conséquence d'une augmentation de la matière organique après la décomposition des résidus. Amélioration de l'activité biologique, de l'infiltration de l'eau et de la disponibilité en eau, comme résultat de l'amélioration de la structure et de l'augmentation de la teneur en matières organiques (figure 19).

Application :

Utiliser le mulch surtout là où une bonne croissance des produits est importante, comme dans les jardins et les vergers. Le mulch étant un produit coûteux, il est conseillé de l'utiliser pour les produits les plus précieux.

Une condition préliminaire pour le paillage est l'accessibilité au matériel de mulch : il faut soit disposer d'un lopin de terre, soit se débrouiller autrement.

Un paillage peut également être appliqué sur des sols en pentes arides, sensibles à l'érosion, à condition toutefois que le ruissellement puisse être maîtrisé, sinon il sera emporté lui aussi.

Exécution :

Tout résidu des cultures, tel que la paille, les tiges de maïs, les feuilles de bananiers ou de palmes, ainsi que les paillages vivants d'herbes et de légumineuses provenant des cultures, jachères ou haies, peut-être utilisé comme mulch. Dans le cas de matériaux provenant des haies, ils doivent être réduits en morceaux de moins de 10 cm.

Déposé à la surface du sol, le mulch diminue la surface exposée à l'impact des gouttes de pluie, ralentit le ruissellement et aide l'eau de la pluie à s'infiltrer dans le sol. Néanmoins quand la surface du sol est lisse et encroûtée, il peut arriver que l'eau de ruissellement s'écoule sous le paillage. C'est un phénomène dangereux qu'on signale généralement trop tard et dont on doit éviter la formation.

Pour éviter que le mulch soit emporté par le vent il est nécessaire parfois de le couvrir d'une mince couche de terre.

Enfin, si on veut semer ou planter une culture, on pousse la couche de mulch un peu de coté, on met les semences ou les plantules et on les recouvre après avec le mulch.

Inconvénients éventuels :

- Vue les récoltes maigres, l'emploi du mulch ne mérite pas toujours cet effort. Le travail de couper, transporter et appliquer, n'est pas récupéré, car souvent la décomposition du mulch est si rapide (faute de températures élevées) qu'il n'arrive pas à offrir au sol une couverture protectrice valable. C'est pour cela qu'un mélange de végétaux à décomposition rapide et lente est souhaitable dans les régions à hautes températures, pour garder le sol couvert le plus longtemps possible.
- Déposé à la surface du sol d'un verger, le mulch ne doit pas toucher les troncs d'arbres. Ceci parce-qu'il peut souvent être transporteur de maladies.
- Le risque du feu est un phénomène important sur les parcelles couvertes de mulch dans les régions à température élevée. Une incorporation superficielle, la création d'un "coupe feu" ou la plantation de haies à feuilles semper virens, sont des remèdes efficaces.
- Dans les régions à forte pression démographique les surfaces qu'on peut affecter à la production du mulch doivent être seulement celles des sols marginaux.
- L'application du mulch doit être faite attentivement en couches pas trop épaisses, pour éviter la fermentation et donc le développement des hautes températures. Quand les matériaux sont constitués de branches d'arbustes ou d'arbres, elles ne doivent pas être plus vieilles de 3 à 5 mois. Autrement, une application supplémentaire de plantes fixatrices d'azote ou de fumure de bétail est nécessaire.
- Une attention toute particulière doit être accordée aussi à la surface d'où on récolte le mulch pour ne pas en déclencher l'érosion.

Pour stimuler l'inventivité du lecteur en ce qui concerne la nature et la source des matériaux pour recouvrir le sol, nous allons nous servir d'un fragment d'une lettre du Père Urbanus, qui a travaillé au Nord-Est du Brésil.

"Mes visites aux Pays-Bas et en Angleterre m'ont appris à continuer mon travail avec de nouvelles idées. La méthode de la conservation de l'humidité du sol contre les rayons brûlants du soleil par une couver-

ture déposée à la surface du sol, me paraît particulièrement intéressante. Mais d'où prendre cette couverture?

Le hasard a fait que j'ai eu de la chance, car précisément pendant ces mois, la communauté a commencée une action d'extirpation des lis d'eau qui couvraient plus de la moitié d'un grand lac. Après le nettoyage du lac, des dizaines de camions ont transporté et déposé les plantes dans un dépôt-poubelle. J'ai demandé a avoir un certain nombre de ces camions et j'en ai reçu 121. C'était un bon commencement du travail. Parallèlement nous avons commencée le nettoyage de notre petit lac, où l'eau était devenue trop saline pour servir à l'irrigation. Car depuis 22 années que le barrage existe, le lac n'avait jamais été nettoyé. C'est pourquoi la couche de boue dépassait par endroits 1 à 1,5 m et que c'était justement là que les sels étaient concentrés et qu'une croûte blanche de sels couvrait le sol pendant les périodes de sécheresse.
Ensuite nous avons escavé des rigoles suivant les courbes de niveau pour permettre à l'eau nouvelle et propre d'entrer. Quand par la suite elle s'infiltrera dans le sol (toujours couvert) l'évaporation et la salinisation seront minimisées. Les quelques ondées que nous avons eu ces jours-ci nous ont permis de constater que la couche de lis d'eau facilite d'une manière excellente la rétention de l'eau dans le sol. C'est pour cela que nous pensons placer des lis d'eau dans notre lac, pour y créer une source de mulch. Et ainsi, ce qui pour les autres est une malédiction, sera pour nous une bénédiction.
Comme le sol est humide, nous avons déjà commencés à planter. Creuser des trous à la houe, planter des semences de haricots, couvrir les trous c'est tout. Les mauvaises herbes ne poussent plus étant découragées et pressées par le mulch. Le bêchage n'est plus nécessaire, car plus on laisse la couche organique tranquille, plus la vie organique se développe. Le seul travail qui reste, est de semer et de récolter. Mais évidemment notre expérience en est seulement à sa première étape. Après une année, nous pourrons en dire plus.

5.6 Le couvert du sol et le couvert améliorant

Le couvert d'un sol est la couverture végétale fournie par une culture semée spécialement pour protéger le sol et/ou pour augmenter sa fertilité. Quand les plantes de cette culture sont incorporées dans le sol à l'état vert, non décomposé, on parle d'engrais verts ou de couvert améliorant.
Les légumineuses qui grâce à une bactérie symbiotique peuvent fixer l'azote de l'atmosphère ont une place importante parmi les engrais verts. Cet azote, présent dans les racines et surtout dans les organes aériens des légumineuses sous forme de protéine, devient disponible pour les cultures suivantes si l'agriculteur enterre à temps cette culture (pour plus de détails voir le livret Agrodok no 28 : Engrais vert et autres formes d'amélioration des sols).

Buts :

- La protection du sol de l'impact de la pluie et la conservation du sol.
- La protection du sol contre une chaleur excessive et par conséquent contre l'oxydation rapide de l'humus.
- L'élimination de mauvaises herbes par manque d'eau et de lumière.
- L'augmentation de la teneur en humus du sol par l'incorporation de la culture et l'amélioration de la structure du sol, comme conséquence de l'augmentation de la teneur en humus.
- L'augmentation de la fertilité du sol.

Application :

Les semailles de cultures améliorantes se font surtout pour des cultures qui recouvrent mal le sol, dû à une plantation en assemblage spatiaux (les arbres par exemple). Aux Phillippines, l'utilisation des couverts améliorants semble être la mesure la plus efficace. Surtout sur des sols pauvres, l'effet fertilisant d'engrais verts (de préférence légumineuses) est particulièrement bénéfique.
La fertilisation verte est appliquée souvent aussi en période de jachère, quand la jachère a été constituée d'une végétation destinée à servir d'engrais vert.

Exécution :

Pour donner la possibilité à la couverture améliorante de donner son maximum de rendement, on doit la semer le plus tôt possible. Ceci peut se faire durant la semaille de la culture principale, mais aussi après la récolte de cette culture. Dans ce dernier cas la couverture améliorante représente une couverture de jachère qui peut servir comme engrais vert pendant la nouvelle saison.

Dans le choix d'espèces, une attention toute particulière doit être accordée aux points suivant :

- Choisir le plus possible les cultures avantageuses, telles que l'arachide et le haricot.
- Choisir des cultures à croissance rapide surtout dans le stade de la levée.
- Choisir des espèces qui concourent le moins possible avec la culture principale, tant en ce qui concernent les besoins en eau, qu'en substances nutritives. Une combinaison d'espèces à enracinement profond (pour la culture principale) avec des espèces à enracinement superficiel pour la culture améliorante pourrait-être une solution.
- Choisir des cultures améliorantes qui ne transmettent pas d'agents pathogènes. Ce risque est moins probable si la culture améliorante et la culture principale appartiennent à des familles différentes. L'annexe C donne un tableau des plantes les plus utilisées comme couvert végétal améliorant, ainsi que leurs caractéristiques. Dans la pratique il est bon d'essayer de mélanger les diverses espèces.

Inconvénients éventuels :

- Si les précipitations annuelles sont inférieures à 500 mm, le couvert améliorant peut utiliser une partie de l'eau nécessaire à la culture principale. Ainsi les récoltes deviennent maigres et les intrants dépassent les profits. Une alternative peu coûteuse est de laisser les mauvaises herbes au champ. Pourtant il n'est pas rare que les mauvaises herbes envahissent les cultures en leur prenant l'eau. Pour le manioc par exemple, la concurrence des mauvaises herbes dans les premiers 4 à 6 moins de croissance est intolérable.
- Des engrais phosphates sont souvent nécessaire aux cultures de légumineuses.

- Les légumineuses sont assez sensibles aux maladies. Les nématodes constituent aussi des ennemis. C'est pourquoi la rotation des cultures de vieille mode est une mesure efficace.
- Pour qu'une quantité suffisante d'azote devienne disponible pour la culture principale il faut attendre assez longtemps, généralement plus d'une année.
- Si les légumineuses sont utilisées pour la première fois, la bactérie Rhizobium doit être inoculée sur les nouvelles plantes. Ceci se réalise par un apport de terre où des légumineuses ont déjà été cultivées pendant un certain temps.

5.7 La fertilisation

La fertilisation est l'application d'engrais organiques et minéraux aux sols à l'usage des plantes.

Buts :
L'amélioration de la fertilité du sol pour satisfaire les besoins des plantes en NPK (azote, phosphore, potassium). La fertilisation a les mêmes effets que l'application du mulch et d'engrais verts. Une fertilité élevée se fait sentir par :

- L'amélioration de la structure du sol (surtout suite à l'application d'engrais organiques), voir chapitre 3.
- Un développement égal des plantes qui assurent un bon couvert pour le sol et ainsi une bonne protection contre l'érosion.
- Une augmentation de la récolte par hectare (particulièrement importante pour les régions sur-peuplées où la pression démographique fait que la période de jachère est raccourcie de plus en plus).

Application :
Comme les sols tropicaux sont généralement pauvres en azote et en phosphore, la fertilisation est une mesure souhaitable. Appliqué seule elle n'est pas très rentable mais combinée à d'autres mesures, elle augmente leur efficacité et leur rapidité.

Exécution :
La fumure de bétail est un engrais organique excellent pour la terre. Une méthode facile pour l'obtenir est de mettre ensemble le bétail pendant la nuit dans une enceinte. Il n'existe pas de normes d'application universelles. D'un cas à l'autre on dois juger de leur utilité, comme de leur efficacité, de leur nature et de leur rentabilité.
L'application d'engrais organiques n'améliore pas immédiatement la structure du sol.

Inconvénients éventuels :
L'expérience montre que les profits nets de l'application d'engrais minéraux ont été souvent décevants. Un autre inconvénient est la dépendance d'une tierce personne, ce qui signifie parfois l'insécurité.

5.8 Culture multiple

La culture multiple (multiple cropping) est une culture de différentes plantes agricoles ou de différentes cultures combinées dans l'espace.

Buts :
- Réaliser une meilleure protection du sol à l'aide d'une couverture intensifiée et de longue durée. De cette manière la saison de croissance est prolongée si bien que le rendement augmente. C'est pourquoi une plus grande quantité de matière organique se forme et la structure du sol s'améliore.
- Diminuer les risques par rapport au marché, aux calamités naturelles et aux maladies car la culture d'une large gamme de plantes donne plus de sécurité.
- Prévenir que les éléments nutritifs ne soient pas lessivés, par le maintien d'un couvert végétal le plus longtemps possible. Donner aux plantes la possibilité de mieux se développer étant donné leurs exigences différentes en termes de sols, l'eau, lumière et d'éléments nutritifs.
- Diminuer les risques des maladies et des destructeurs par la mise en culture d'espèces appartenant à différentes familles.

Application :
Le "multiple cropping" est une forme de culture traditionnelle qui malheureusement a été remplacée par la monoculture. Elle est d'une réelle importance surtout dans les régions à forte pression démographique car elle permet une utilisation plus intensive du sol. Elle est aussi très avantageuse dans les régions où l'agriculture n'est pas mécanisée.

Exécution :
Le système de cultures multiples peut être sous divisé en :

- Culture mélangée ("mixed cropping").
  Les différentes cultures sont semées ensemble (par exemple différentes sortes de haricots).
- Cultures intercalées ("intercropping").
  Les différentes cultures sont semées en lignes intercalées. Par exemple le manioc est semé comme culture secondaire entre les lignes de bananiers ou cocotiers.
- Cultures-relais ("relay-cropping").
  La culture secondaire est semée après que la culture principale a été récoltée. En Indes, le sorgo et le pois (Cajanus cajan) sont souvent cultivés ensemble. Après que le sorgo est récolté, les fèves du pois poussent à travers les chaumes et la plante fleurit.

Vous en connaissez certainement d'autres exemples dans votre environnement, et vous savez que ce système de culture permet une bonne utilisation de la terre puisque des plantes de haute taille peuvent être cultivées en mêmes temps que des plantes de petite taille. Seulement, on doit faire attention à ce que les plantes de petite taille tolèrent l'ombre. Ainsi des plantes à tubercules comme Colocasia et Xanthosoma, les deux supportant l'ombre, peuvent très bien cultivées sous les bananiers. En Amérique du Sud et Amérique Centrale, le café est souvent cultivé sous Erythrina qui est régulièrement coupé pour le fourrage, bois de feu et matériau de mulch riche en azote. Cette pratique est en fait une forme d'agro-sylviculture.

Inconvénients éventuels :

- Si le sol doit être travaillé pour une seconde culture, il se peut que les plantes de la première culture aient à souffrir de ce travail du sol.
- Les différentes cultures peuvent se concurrencer pour l'absorption de l'eau, d'éléments nutritifs et la lumière.
- On doit bien observer le sol qui ne doit pas s'appauvrisse pour ne pas le conduire à une dégradation.

6 Mesures a appliquer dans les differents systemes de cultures

6.1 Rotation et jachère

Les systèmes de culture tropicale dérivent en grande partie de l'agriculture itinérante (shifting cultivation), système de production de nourriture basé sur une rotation de cultures avec une jachère de longue durée. La période de jachère est le facteur déterminant de la régénération naturelle de la fertilité du sol. Après 15 à 20 années durant lesquelles cette régénération est accomplie, la végétation peut être de nouveau coupée et brûlée, et les sols remis en culture. Cette façon de cultiver est encore utilisée, et nourrit environ 8% de la population du globe. Mais malheureusement, à cause de l'accroissement de la population et de la nécessité de produire davantage, beaucoup d'agriculteurs sont contraints d'abréger, voir supprimer, la jachère. Ainsi, trop peu de substances nutritives peuvent s'accumuler de nouveau, ou être conservées, et la fertilité du sol diminue petit à petit.

Les causes de l'augmentation de la sensibilité de ce système à l'érosion sont les suivantes :

- L'érosion est, dans la période de croissance des cultures beaucoup plus intense que dans la période de jachère parce-que le sol est moins couvert. Cela veut dire que, plus la période de croissance des cultures est lonque, plus le risque d'érosion sera grand.
- Si le cycle végétatif d'une culture est long, les plantes vont absorber plus d'éléments nutritifs. Or, sans une période de régénération totale, la terre ne peut se remettre de la perte des éléments nutritifs. La matière organique diminue, la structure du sol est détériorée et perd sa stabilité.
- L'état de la culture et par conséquent la couverture végétale est moins bonne, le risque de maladie est plus grand, les rendements sont moins bons et le sol s'abîme davantage.

Vous voyez donc qu'une période longue de jachère est absolument nécessaire à la régénération du sol. Quand la jachère est abrégée à cause des nécessités, des mesures pour limiter les conséquences fâcheuses de l'épuisement et de l'érosion du sol doivent être prises.
La mesure la plus importante pour maintenir le niveau de la production, est la fertilisation. Parallèlement on doit veiller à éviter le risque de maladies et des destructeurs, ainsi qu'à conserver la structure du sol, à améliorer la couverture végétale, à diminuer le ruissellement et à conserver l'eau (voir chapitre 5).

Dans la période de jachère on peut aussi apporter des améliorations :
- Veiller à ce que le sol soit couvert le plus vite possible. Les semailles de certaines plantes peuvent y contribuer.
- Veiller à ce que les éléments nutritifs entrent le plus vite possible dans le cycle de nourriture et même essayer d'enrichir le sol même, par l'utilisation de cultures fixatrices d'azote.

Ainsi on arrive en fait dans un état intermédiaire entre la période de jachère et la période de rotation des cultures.
La rotation des cultures est la succession dans le temps de différentes cultures dans le même champ. Il est bon d'alterner les cultures avec des herbages graminées, trèfle et légumineuses. Donc d'avoir dans une rotation des prairies et des terres arables, de façon à ce que l'érosion ne se développe pas dans la rotation.
Sur les terres en pente, deux années consécutives d'herbage (de préférence graminée-légumineuses 50/50) se sont révélées très efficaces. En fonction des conditions locales, leur présence dans la rotation peut être élargie. Si l'herbage est suivi par une culture, celle-ci va bien profiter de l'amélioration de la structure et de la conservation du sol. Mais après deux années, cet effet va commencer à disparaître et c'est pour cela qu'il est mieux de maintenir les pentes raides en permanence sous herbage ou forêt.
La limitation des maladies et dommages causés par les insectes, la limitation des mauvaises herbes sont d'autres effets de la rotation des cultures. C'est pour cela que l'alternation de plantes de cultures revêt aussi une grande importance.

6.2 Prairies et incendies

Il est connu que l'érosion en filets commence souvent dans les prairies ou long des sentiers faits par les bêtes, surtout autour des sources et autour au villages. Devant marcher des kilomètres chaque jour pour s'abreuver, les bêtes suivent à peu près les mêmes sentiers, en piétinant la terre, dégradant sa structure et détruisant le couvert végétal. Ainsi, le sol dénudé est soumis à l'action érosive de l'eau qui durant la pluie s'accumule et s'écoule sur ces sentiers en formant des rigoles qui entaillent le sol. A force d'une augmentetion en largeur et en profondeur à chaque averse, elles se transforment en ravines. Quand l'érosion avance, le ruissellement est de plus en plus actif, le sol reste de plus en plus sec, les sources donnent moins d'eau et parfois elles se tarissent. Alors le bétail doit parcourir quotidiennement de plus longues distances, dépenser plus d'énergie et consommer plus de nourriture. Et l'érosion augmente par surpaturâge sans que le nombre de bêtes augmente.

Pour lutter contre ce mal, il faudra que chaque prairies ait son abreuvoir. Pour un fermier, ceci est difficilement réalisable évidemment. Mais ce qu'il peut faire est de veiller à ce que le près ne soit pas surpâturé. Il peut le faire, mais non sans difficultés, car dans la plupart des cas il est éleveur, mais ne point propriétaire. L'amélioration de la valeur nutritive de la prairie constitue une autre méthode pour empêcher sa dégradation. Elle peut se faire, soit en sur-ensemençant une plante fixatrice d'azote (trèfle par exemple) qui est en même temps résistante et nutritive, soit en fertilisat. Souvent le déficit en éléments nutritifs est un facteur aussi limitatif que la pluie. Et si on se réaliser qu'il y a un déficit presque universel d'azote et de phosphore, on se rend compte de l'importance de la fertilisation. Néanmoins, même avec une fertilisation, on doit donner aux prairies sur-paturées la possibilité de se régénérer. Une période de trois à dix années de repos, durant laquelle la prairies est clôturée par une enceinte de haies est idéale. Cette "enceinte vivante" peut-être une réserve fourragère, une source de mulch ou une source de bois de feu. Il sera parfois nécessaire aussi de réensemencer les terrains (de parcours) dégradés et il faudra ensuite y pratiquer le paturâge par rotation pour éviter de surcharger la prairie de nouveau.

Si des années de sécheresse se succèdent, ou si une forte sécheresse brûle les prairies, l'herbe perd son goût et sa valeur nutritive. Pour obtenir de l'herbe fraîche, les élèveurs l'incendient. Le succès ou l'échec de l'entreprise dépendent du moment ou et de la manière dont on brûle. Sur des sols sensibles à l'érosion, le meilleur moment pour incendier est juste avant la saison des pluies. De cette façon le sol rester dénudé le moins longtemps possible et les pluies abondantes de la saison humide restaureront vite la végétation. Cependant si le terrain est trop sec, le feu trop intense brûle toute la matière organique, et l'azote et le soufre libérés disparaissent dans l'atmosphère avec la fumée. D'autre part, en brûlant légèrement au commencement de la saison sèche on diminue le risque des feux spontanés non-contrôlables qui apparaissent souvent durant la saison sèche. En fonction des conditions locals on doit déterminer la meilleure période pour incenelui les prairies. On doit éviter pourtant, de brûler fréquemment et intensément, pour empêcher la formation, dans le profil du sol, de couches dures nommées "hard pan". Malheureusement la décision isolée d'un fermier de brûler ou de ne pas brûler ses prairies, n'a pas beaucoup de conséquences par l'environnement. Mais quand on décide du sort de son petit monde, on doit le faire prudemment. Ainsi, si vous décidez de ne pas brûler vos prairies, entourez-les d'un coupe-feu pour les protéger des feux des autres. Nous connaissons l'exemple d'une ferme au Ghana, qui était la seule dans une région à ne pas incendier ses prairies pendant quelques années et qui grâce à un coupe-feu bien construit était bien protégée contre les feux des autres fermiers. Etant utilisée en même temps comme source de fourrage, de mulch et de bois de feu, ce coupe-feu ne constitue ait pas de perte de terrain.

Pour finir, nous ne voulons pas manquer de remarquer que dans beaucoup de régions les prairies sont encore des terres communales où il n'est pas d'usage d'investir du temps de travail, des semences ou des engrais.

6.3 Arbres et forêts dans la lutte contre l'érosion

Etant souvent le résultat d'une forte pression démographique ou d'un déboisement dans un but commercial, le défriche ment des forêts est la cause de l'érosion dans la plupart des régions du monde. Le défrichement expose à l'érosion et aux crues destructrices non seulement la région défrichée, mais aussi la partie aval du bassin versant. Un exemple très concluant est constituie par les inondations qui ont affecté le Bangladesh en 1974 en provoquant une famine catastrophique, et qui ont été causées en partie, par des déboisements effectués au Népal et dans l'est de l'Inde. Des exemples, à plus petite échelle, sont le colmatage des lacs de barrage, la disparition des sources, etc.

La fonction de la forêt en ce qui concerne la lutte contre l'érosion est double :

- Fonction de protection.
  La forêt protège le sol de l'impact de la pluie. Sa litière et son tapis végétal exercent une protection mécanique plus importante que son feuillage. Bien que le feuillage brise la force vive de la pluie, il arrive que les gouttes de pluie pouvant s'agrandir sur la marge d'une feuille, frappent le sol avec une force plus grande que celle des gouttes moyennes. Des observations montrent que les gouttes qui tombent des feuilles sur les arbres d'une hauteur de plus de 6m, ont une force destructive plus grande que les gouttes qui tombent directement des nuages. C'est pourquoi le tapis végétal et l'épais feutrage de feuilles mortes et de brindilles sont d'une grande importance aussi bien dans une forêt que dans le cas d'arbres isolés.
- Fonction d'amélioration de l'hydrologie.
  Une caractéristique importante de la forêt est sa capacité d'absorber de l'eau. Grâce à l'enracinement profond et dense des arbres, le sol de la forêt a une bonne porosité et une capacité d'infiltration élevée. Quant au surplus d'eau qui alimente le ruissellement superficiel, il se propage sur une surface rugueuse qui s'emploie sans relâche à ralentir sa vitesse. Ainsi, la forêt joue le rôle d'une éponge qui absorbe rapidement de grandes quantités d'eau, qu'elle laisse s'étaler lentement apris. Les parties dépressionaires du bassin versant profitent

de cette action, car one réduction de l'eau de ruissellement fair diminue l'érosion, et un écoulement des eaux lent prolonge l'humidité pendant la saison sèche.

Pour ces raisons, le reboisement est une des mesures les plus recommandées dans les programmes de conservation des sols.
Mais en décidant d'un reboisement, il faut tout d'abord savoir s'il est réalisable et profitable. Car les forêts n'ont pas été défrichées sans raison.

La question qui se pose, est de savoir pourquoi les forêts ont été défrichées?

- Pour pâturer le bétail?
- Pour obtenir du bois de feu? ou
- Pour acquérir de nouvelles terres arables?

En cherchant la raison du déboisement, on découvre à quel point le reboisement est la methode la plus valable de protection contre l'érosion. Sans aucun doute, le reboisement des pentes raides, comme des pentes à sols peu profonds, est la mesure la plus adéquate pour conserver le sol, et aussi parce-que ce sol n'a jamais eu de vocation agricole ou pastorale. En choisissant les espèces, il faudra opter pour celles qui s'enracinement et se de développement vite rapide. Ces espèces sont nommées pionnières. Elles sont résistantes et peu exigeantes en ce qui concerne les conditions de l'environment. Souvent, ces espèces sont disponibles sur place (et un matériel de première main est à notre portée). Néanmoins, on doit faire attention à ce que ces espèces ne soient pas trop sensibles à la sécheresse, car les jeunes plantules n'ayant pas d'enracinement solide souffrent souvent d'un manque d'eau (voir l'annexe 4, pour la liste des espèces forestières à utiliser pour les plantations antiérosives).

Quand le reboisement n'est plus possible dans un région, il faudra se contenter de planter des arbres isolés. Le choix des espèces doit être adapté aux les demandes locales.

A-t-on besoin de nourriture pour le bétail?
On doit utiliser des espèces dont les feuilles constituent un bon fourrage. Surtout les légumineuses, dont les feuilles sont riches en protéines, peuvent être utilisées comme fourrage concentré. Une enquête parmi la population locale vous édifiera en ce qui concerne les espèces qui ont leur préférence.

A-t-on besoin de matériau de mulch?
Des se composant d'un mélange d'espèces légumineuses plantées suivant les courbes de niveau peuvent fournir non seulement ce mulch, mais aussi du fourrage, du bois de feu et des fruits qui complètent la nourriture quotidienne des fermiers.

A-t-on besoin de bois de feu?
Alors, n'importe quel arbre est bon. Il est important de le savoir, car dans les régions où les arbres manquent, les villageois sont obligés de brûler de la bouse de vache et des restes de cultures, pratique qui contribue à la privation des sols de la matière organique et des éléments nutritifs dont ils ont besoin. En outre, cette pratique demande plus de temps et plus de travail (voir chapitre 9).

Pourtant bien souvent les arbres sont considérés comme des obstacles embarrassants et les programmes de plantation échouent. Pour cela il y a plusieurs raisons qu'il faut signaler :

- Premièrement les arbres peuvent concurrencer les cultures agricoles. Ils absorbent les substances nutritives et l'eau destinées aux cultures. Mais ils ont aussi une fonction de "pompe" car par leur système racinaire profond ils peuvent apporter de nouveaux minéraux de la profondeur et par les feuilles caduques les rendres au sol, au profit des cultures. Les arbres qui fixent l'azote (comme Acacia ou Prosopis) ont même un effet fertilisant. La concurrence pour la lumière peut aussi poser un problème. Sur les sols pauvres il semble qu'une faible concurrence est plutôt avantageuse.
  Aussi, en vue de la concurrence, sur les sols labourés il est mieux de ne pas avoir d'arbres qui portent des feuilles dans la saison de la croissance, mais d'en planter au long des bordures et surtout sur le

côté supérieur de la parcelle où ils peuvent servir de barrage contre l'eau de ruissellement sur la pente.

- Assez souvent une plantation sèche, soit parce-que les jeunes arbres ont été plantés trop tard dans la saison, soit parce-que l'approvisionnement en eau a été mal réglé. C'est pour cela que la création de pépinières locales est importante pour pouvoir réaliser une distribution sûre, autent que pour intéresser la population locale à la plantation et l'impliquer dans son entretien.
- Il s'écoule un grand laps de temps avant qu'on ait des résultats. Une recherche agro-forestière effectuée au Kenya a montré que la manque d'intérêt pour un plantation des arbres était le résultat de la conviction que les arbres poussent tout seul et que par conséquent, on n'a pas besoin des planter. Par contre les arbres a destination spéciale comme les arbres fruitiers (citronniers, manguiers), ou les arbres pour le bois de construction (Eucalyptus ou Pinus) étaient plantés et bien soignés. Le serait un grand succès, quand un réussit à apporter des arbres à croissance rapide.

En conclusion nous voulons proposer ceci : La plantation des arbres doit se faire partout où cela est possible; le long de routes, de rivières, autour de maisons, de villages. Et tout cela doit être fait le plus possible avec la participation de la population locale.
De plus, toutes les superficies à vocation non-agricole doivent être plantées pour assurer au sol une couverture protectrice ainsi que pour fournir du bois de feu et du bois de construction.

7 Mesures techniques

7.1 Introduction

Souvent les mesures techniques de la conservation des sol, ne sont pas très utiles. Mais quand on les appliquent, il est bien de les combiner avec des mesures de culture et de vulgarisation. Une question importante est de savoir si le fermier peut payer ou exécuter lui-même ces mesures.

Le but des mesures techniques est double; il comprend notamment la réalisation d'une évacuation contrôlée de l'eau de même que d'une conservation de l'eau. Ensuite il est important d'examiner le niveau auquel ou l'échelle à la quelle on doit prendre ces mesures. Ceci peut être : le niveau du bassin versant, de la pente et de la ferme (figure 20).

Mais en appliquant une mesure, l'attention doit être également portée à l'entretien tout particulierement pour pouvoir assurer un effet à long terme.

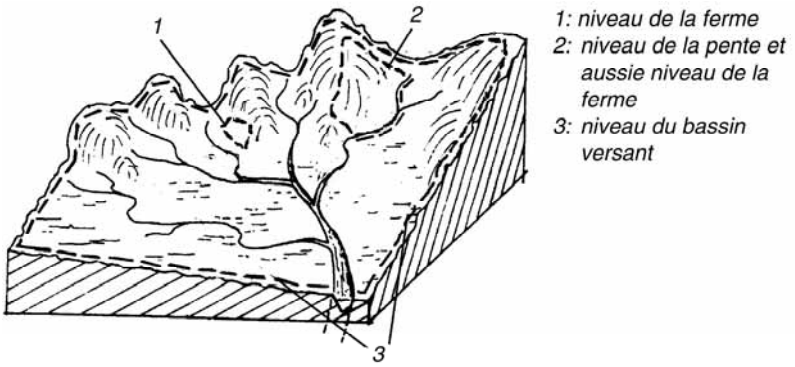


Figure 20 : Bassin versant.

Au niveau de la ferme

Le point de départ doit être l'utilisation de la terre d'après sa vocation. Mais dû à de nombreux facteurs socio-économiques, ceci n'est que rarement réalisable (voir chapitre 8). Certaines mesures techniques au

niveau de la ferme peuvent être appliquies par le fermier lui-même ou avec l'assistance d'autres fermiers. Simple, mais efficace, c'est la culture suivant les courbes de niveau (voir chapitre 5). Pour déterminer les courbes de niveau vous pouvez consulter l'annexe B qui décrit sommairement quelques techniques topographiques, sur lesquelles vous pouvez vous renseijner enditout dans l'Agrodok 6, se référant à ce sujet.

Au niveau de la pente et aussi au niveau de la ferme

Il est obligatoire que le travail commence au sommet pour descendre ensuite par étapes, vers l'aval. Si non, on court le risque que les travaux effectués plus bas soient détruits par l'eau de ruissellement et par la boue qui coule sur le versant. Aussi, si nécessaire, on doit s'occuper de la fixation des ravines.

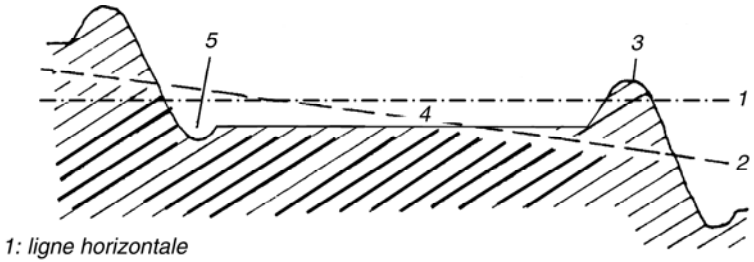
Au niveau du bassin versant

La lutte contre l'érosion du sol est une partie du plan de développement des travaux du génie civil. Des mesures de ce niveau sont par exemple, le reboisement, la régularisation des cours d'eau (pour prévoir l'inondation dans la partie aval) et les terrassements à grande échelle. De tels plans de développement demandent souvent du temps et de l'argent. C'est pour cela que, d'habitude, ils sont exécutes par les gouvernements.
Un plan de développement bien équilibré du point de vue des travaux du génie rural, rend les mesures à petite échelle beaucoup plus efficaces. Quand les bassins versants sont petits (quelques hectares) les fermiers peuvent les gerer eux-mêmes.

Dans les régions à sols profonds et à pentes abruptes on rencontre souvent de l'érosion en filets inquiétante. Les mesures pour la maîtriser doivent se fonder sur une évaluation approfondie des dimensions ou des systèmes de ravines, de la dimension du bassin versant, par exemple des quantités d'eaux maximales évacuées. Les petites ravines peuvent être contrôlées par le fermier lui-même. Au niveau de la pente, la maîtrise de l'érosion dépend du volume des travaux. Parfois, le fermier peut exécutée le travail tout seul, parfois avec l'aide d'autres

fermiers et parfois avec l'intervention d'une organisation plus grande, comme une coopération entre les paysans, entre des communautés ou entre des associations de villages. Le gouvernement central n'intervient que si des intérêts importants sont en jeu. Par exemple le colmatage d'un lac de barrage.

Une autre mesure importante consist du terrassement. Par a terrasse, on comprend d'habitude une combinaison de banquettes destinées à conserver de l'eau et des remparts destinés à les protéger. Ainsi, sur les pentes les terrasses réalisent des surfaces plus ou moins horizontales, qui servent à diviser une longue pente en une série de courtes pentes. Dans certaines terrasses la surface horizontale est très étroite et des diguettes servent à arrêter l'eau. Le but d'une terrasse est de régulariser et de recueillir l'eau qui s'écoule sur une pente après une ondée et de l'obliger à s'infiltrer dans le sol. Les différentes formes de terrasses (de déviation, d'absorption, d'évacuation) seront étudiées plus tard (figure 21).



1: ligne horizontale
2: pente orginale
3: diquettes de terre
4: terrain agricole
5: fossé de réception

Figure 21 : Construction d'une terrasse.

7.2 Mesures à appliquer

Nous avons déjà parlé de la culture suivant les courbes de niveau comme méthode de conservation des sols. Mais si la terre est très morcelée et la pente irrégulière, on ne peut pas avoir de grandes par-

celles pour les travailler suivant les courbes de niveau. Dans ce cas on peut introduire des ceintures de végétation ou construire des murettes en pierres. Une murette en pierres le long d'une courbe de niveau se colmate peu à peu en amont. Ainsi des terrasses en secalier se forment progressivement. Comme dans les terrasses construites, l'érosion est ralentie par la diminution de la longueur de la pente (figure 22).

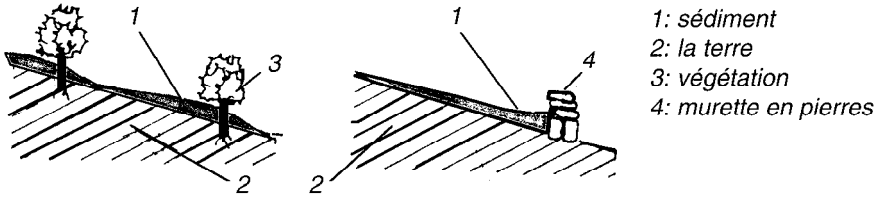


Figure 22 : Formation d'une terrasse à l'aide d'une ligne de végétation ou d'une murette en pierres.

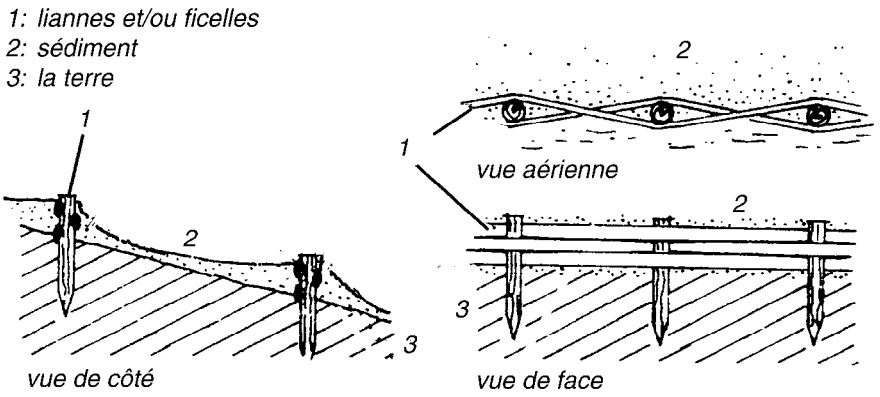


Figure 23 : Fortification d'un rempart.

La murette peut être fortifiée par des poteaux unis entre eux par des lianes ou des ficelles (figure 23). Comme ces poteaux peuvent être attaqués par termites, une surveillance est nécessaire pour pouvoir les signaler.

Le succés d'une mesure est déterminé en grand partie par la bonne réunion de données nécessaires dans la phase préparatoire. La détermination de la quantité d'eau de ruissellement, le gradient de la pente, la longueur de la pente et sa forme, l'épaisseur du sol, la superficie, la perméabilité du sol (Annexe 1), la capacité d'infiltration du sol, etc. sont les facteurs principaux à connaître. Particulièrement pour les grands projets, la connaissance de ces facteurs est essentielle et ce n'est qu'après qu'on peut passer à l'exécution des travaux.
En général, toute mesure qui freine le ruissellement de l'eau et qui lui donne la possibilité de s'étendre, est une mesure bénéfique. Par contre, les mesures mal exécutées ou les travaux mal entretenus peuvent également aggraver les phénomènes d'érosion.

7.3 Terrasses

Une terrasse sert, en principe à intercepter l'eau de ruissellement (chargée des particules de sol), à la retenir, et à la faire s'infiltrer dans le sol, pour que l'érosion soit limitée.
La forme plus simple de terrasse est la terrasse en terre. Elle peut être construite par le fermier lui-même ou par le fermier assisté d'un certain nombre d'autres villageois, à l'aide d'une charrue, houe ou bêche seulement.
Ces sortes de terrasses se rencontrent sur des terrains inclinés et ont l'aspect schématique suivant (figure 24).

Dans les régions sèches où le danger de colmatage n'est pas aussi grand que dans les régions humides, le chenal de la terrasse est souvent construit en bas du talus et non pas à l'amont. Les chiffres suivants peuvent vous guider dans l'établissement des dimensions de vos terrasses.
Naturellement, elles varient en fonction des conditions locales, parmi lesquelles la composition du sol et sa vulnérabilité et l'érosibilité de la pluie, c'est à dire, son intensité et sa durée, sont les plus importantes.

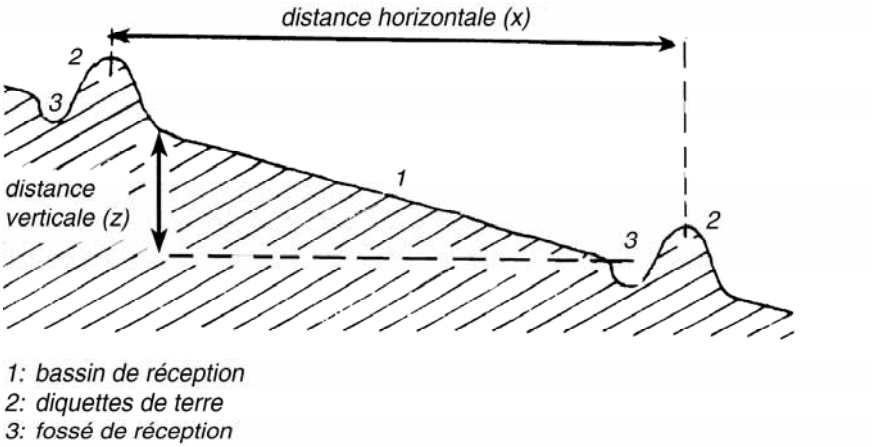


Figure 24 : Schéma d'une terrasse de terre.

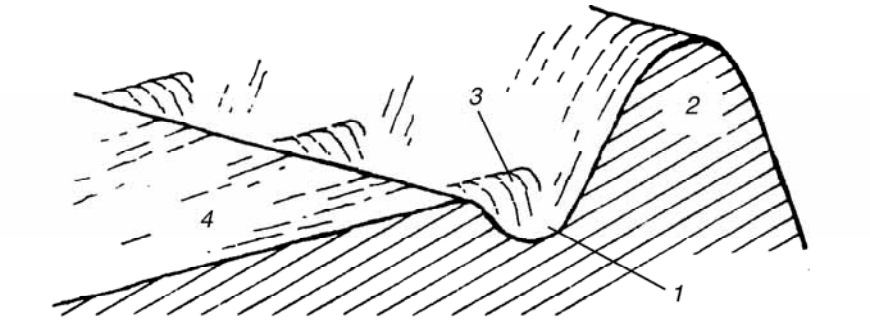
Tableau 1 : Dimensions d'une terrasse de terre

pente transversale (z/x × 100%)	dimensions de la terasse (x)
1%	40 - 60 m
2%	20 - 40 m
6%	15 - 30 m
10%	10 - 20 m
40%	5 - 10 m

z = dimension verticale
x = dimension horizontale
× = multiplication

Pour des pentes d'une raideur de plus de 10% les dimensions des terrasses deviennent trop petites. Pour de telles pentes il est d'ailleurs préférable de ne les pas utiliser pour l'agriculture, mais de les boiser, d'y planter des arbres fruitiers ou de les engazonner (voir chapitre 6).
La longueur d'une terrasse (donc la partie qui suit les courbes de niveau) dépend naturellement des conditions locales, des obstacles, comme des propriétés du sol. Le ruissellement d'eau doit aussi être pris en considération. Le fossé de la terrasse ne doit pas être trop long, car dans ce cas l'érosion peut avancer. La construction de petits barra-

ges à distance régulière pour ralentir la vitesse de l'eau pourrait offnir une solution (figure 25). La hauteur du talus de la terrasse doit être constante car autrement il y a un risque d'effrondement dans les parties les plus basses, au en période de fortes averses.



1: fossé de réception
2: diquettes de terre
3: petites barrages
4: terrain agricole

Figure 25 : Fossé de terrasse à petites barrages.

Les terrasses en terres peuvent être construites en une seule fois ou échelonnées sur quelques années. En labourant le sol d'une certain manière, la terrasse reçoit plus et plus sa forme définitive et en quelques saisons, le gradient de la pente diminue. La protection de ces terrasses et surtout de leurs talus est une action nécessaire. Ces derniers peuvent être bien protégés par l'excavation d'un fossé qui collecterait les eaux de ruissellement et les dirigerait vers un exutoire. Le talus de la terrasse doit être engazonné et la végétation bien entretenue. Les graminées tallantes sont les plus recommandées (voir chapitre 9).

A côté des terrasses des terres qui sont les plus fréquentes, nous distinguons encore d'autres types, d'après leur différentes fonctions :

Terrasses d'absorption

Ce sont les terrasses qui, servent à défendu contre l'érosion et à conserver l'eau. Leur but est de collecter le maximum d'eau de ruissel-

lement, de la conserver temporairement et de la laiser ensuite s'infiltrer dans le sol. C'est pour cela que leur position est presque horizontale. L'horizontalité dans les régions sèches ayant une pente transversale de 0,1-0,4 % est nécessaire pour sortir l'excès d'eau temporaire. Pour augmenter l'infiltration vous devez essayer de maintenir la surface aussi rugueuse que possible (figure 11).

Ces types de terrasses sont surtout utiles dans les régions relativement sèches à déficit d'eau fréquent. Mais les pluies sporadiques et fortes fournissent elles aussi suffisamment d'eau pour la collection. Sur des sols moins perméables (comme les sols argileux) ou sur les sols à écoulement très élevé ces terrasses sont moins efficaces. Les terrasses d'absorption sont horizontales ou ont parfois une pente faiblement inclinée vers l'intérieur. Contrairement aux terrasses normales elles doivent être construites en une seule fois (figure 26).

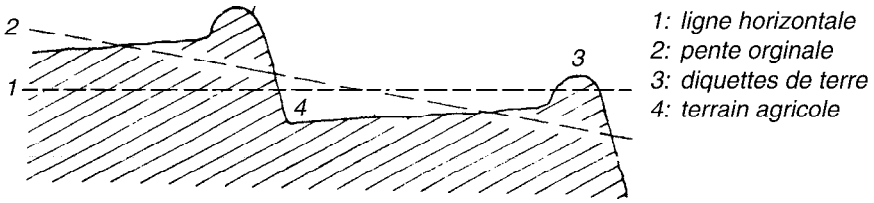
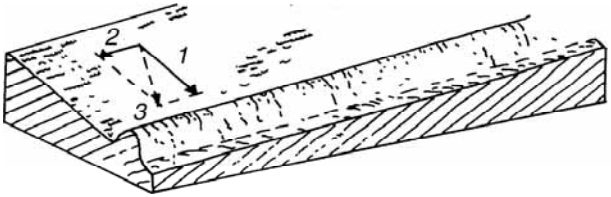


Figure 26 : Terrasse d'absorption.

Terrasses d'écoulement

Comme leur nom le suggère, le but de ces terrasses est d'évacuer doucement l'eau d'écoulement des parcelles situées sur la pente après une ondée. C'est pour cela que leur pente transversale (Annexe 1) est faible (figure 27).

En fonction du ruissellement maximal, du type du sol et de la taille de la terrasse (bassin de réception), cette pente (en angle ∞ avec la courbe de niveau) peut s'élever entre 0,2 et 1%. Ceci est nécessaire car l'eau peut s'écouler latéralement. A distance régulière, des fossés, d'écoulement draînent les terrasses. Ces fossés de drainage (secondaires) débouchent dans un fossé de drainage principal ou dans une ravine.



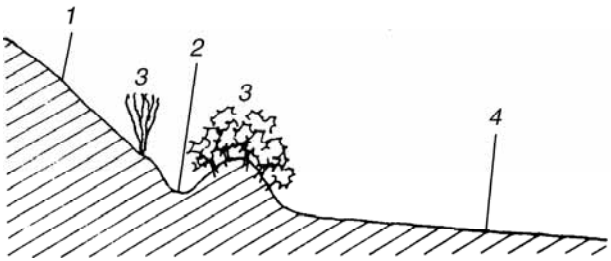
1: ligne descendante
2: plan incliné
3: direction d'eau

Figure 27 : Terrasse de réception.

Terrasse de dérivation

Une terrasse de dérivation est une forme particulière de terrasse, où un fossé de réception est escavé dans la partie supérieure des terres arables à aptitude agricole élevée (terres profondes à haute perméabilité) situées à la base d'une pente abrupte.

Le but de ce fossé est d'intercepter l'eau de ruissellement qui s'écoule sur la pente et de la diriger, d'une manière contrôlée, vers une ravine. Le matéria escavé du fossé forme un gradin perpendiculaire à la pente qu'on doit tenir engazonné le plus possible (figure 28).



1: pente raide
2: fossé de réception
3: végétation
4: terrain agricole

Figure 28 : Terrasse de dérivation.

Pour éviter des dégât éventuels provoqués par l'eau de ruissellement, la pente longitudinale du fossé ne doit pas dépasser 0,5%. Il est important également de veiller sur un entretien régulier qui empêche le colmatage. La diminution du colmatage doit être réalisé aussi par l'application de mesures antiérionales en amont de la pente.

7.4 Drainage

Une mesure importante pour prévenir l'érosion comprend également la construction, l'amélioration et l'entretien d'un bon réseau de drainage de pente. Pour qu'il soit efficace on doit strictement respectée, la règle de travailler de bas en haut. C'est la seule manière de réaliser une évacuation contrôlée des eau. Le principe d'un bon système de drainage consite à veiller à ce que la quantité d'eau à évacuer à un moment donné, s'écoule d'une manière vite et en toute sûreté.
Si vous commencez le travail en haut vous risquez d'avoir un excédent de ruissellement, résultant d'averses exceptionnellement intenses, qui, en déversant vers l'aval, ne peuvent pas être retenues, par le système d'évacuation. Ainsi, comme il s'agit d'une énorme quantité d'eau, l'inondation et le ravinement avant lui et la catastrophe est là!

Le drainage principal

Le drainage principal sert comme collecteur d'eau qui reçoit l'eau provenant tant des chenaux de drainage secondaire, que des terrasses de déviation, des fossés de terrasses, ainsi que des cours du drainage naturel. Pour pouvoir recevoir toute cette quantité d'eau et surtout afin de l'évacuer en toute sûreté, les dimensions du chenal de drainage principal doivent être suffisamment grandes. C'est pour cela, qu'en fonction des conditions locales, on peut utiliser aussi bien de grands fossés, que des chenaux ou des ravines stabilisées.
Le drainage secondaire est constitué de fossés d'écoulement assez larges (souvent construits artificiellement) par lesquels l'eau de surface est conduite vers le chenal de drainage principal. Quand ces fossés sont couverts de verdure, par exemple d l'herbe (grassed waterways), l'érosion de fond est diminuée. Servant a transporter l'eau seulement dans les périodes de "pic", elles restent sèches la plupart du temps.
Les fossés de drainage d'une terrasse, notamment les fossés de réception, déversent leurs eaux dans ces cours de drainage secondaires, qui reçoivent également les eaux des systèmes construits éventuelement (figure 29).

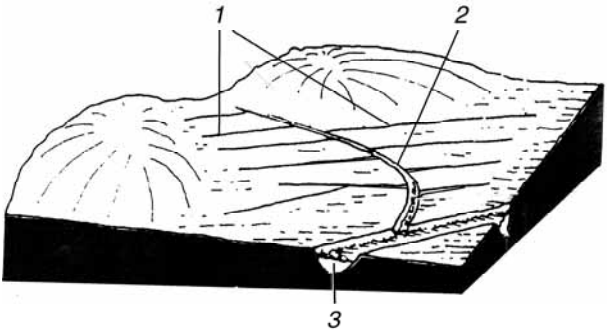


Figure 29 : Drainage.

Stabilisation et répression de l'érosion en filets

L'apparition d'un ravinement dangereux a lieu presque toujours aux endroits des sols profonds ou à pentes abruptes. La raideur de la pente, accélérant l'eau de ruissellement, augmente son action érosive, tardisque la faible cohérence d'un sol profond et meuble, permet à l'eau d'une pluie intense, de l'entailler sur une grande profondeur. La stabilisation de l'érosion en filets ne représente pas une vraie défense contre l'érosion. Elle essayee plutôt de maîtriser cette érosion, en empêchmant le ravinement de s'avancer vers le sommet de la pente.

Pour choisir de mesures les plus adéquates pour arrêter l'érosion en filets on doit connaître l'ampleur du processus, la dimension de la ravine, ainsi que la superficie de son bassin versant (de laquelle dépend la quantité d'eau à évacuer).

En tout cas, une première mesure est de limiter la vitesse du courant d'eau dans la ravine, pour l'empêcher de s'élargir.

Quand les ravines sont petites et peu profondes, elles peuvent être stabilisées par le fermier lui-même. L'escentiel est de retenir l'eau le plus possible au centre de la ravine. Ainsi la ravine n'augmente pas, car les berges ne sont pas en danger. De petits barrages en pierres, des matelas de pierres ou des branches d'arbres peuvent bien servir à ce but, en arrêtant le courant boueux et laissant "suinter" l'eau, à travers (figure 30).

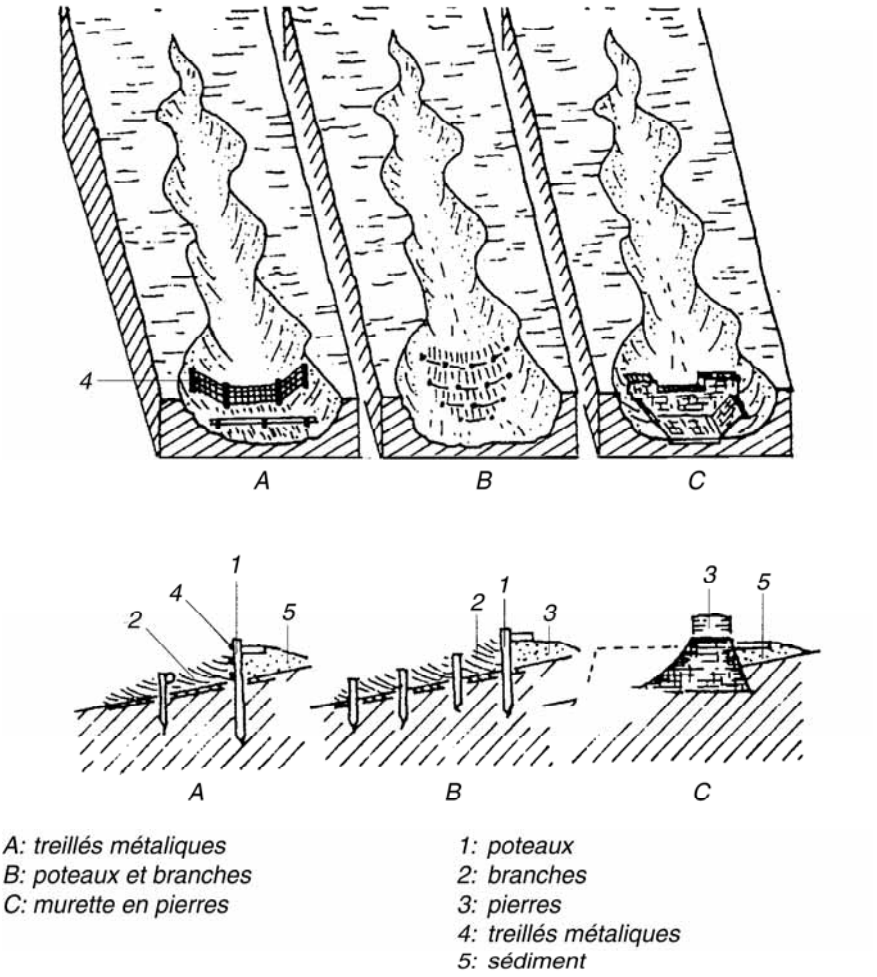


Figure 30 : Quelques exemples de barrages.

En construisant les barrages, les points suivants doivent être respectés :

- La diminution de la longueur de la pente et par conséquent la diminution de la vitesse de l'eau de ruissellement et de son pouvoir érosif.

- La diminution du risque d'écroulement des parois, par l'exécution des travaux d'emplacement de barrages et aussi d'autres travaux vers l'amont, à des pentes inférieures à 1 : 2 ou 1,5 : 1.
- La réalisation d'un contact consolidé entre les parois de la ravine et le barrage construit, de telle façon qu'il ne soit pas enlevé par un surcroît de ruissellement.
- Une hauteur réduite du barrage au centre, là où le courant se concentre.
- Une fortification du fond de la ravine vers l'aval ainsi que des parois de la ravine, pour prévenir l'action destructive de l'excédent de ruissellement résultant d'averses exceptionnellement intenses. Elle peut être réalisée avec du cailloutis, de vieux pneus de voiture, du béton, etc. (figure 31).

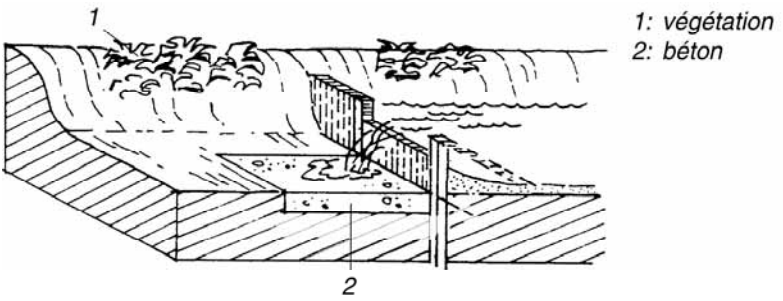


Figure 31 : Stabilisation d'une ravine.

- Il faut enlever les obstacles qui poussent l'eau contre les bords de la rigole. Dans certains cas des mesures pour arrêters. L'avancement de la ravine vers le sommet de la pente sont nécessaire. L'avancement du ravinement a lieu quand le martèlement de l'eau qui tombe à la tête de la ravine, ruine le soubassement de la paroi de terre escavée et fait écrouler encore plus de sol (figure 32).

  Le cailloutis, les décombres, les branches d'arbres et tout produit semblable peut servir à ce but. L'entretien d'un couvert végétal tout autour, constitué de graminées tallantes et d'arbres, est une mesure supplémentaire souhaitable. Contre le piétinement du bétail qui est

souvent la cause du ravinement, la construction des clôtures (grille, épines) est une solution. En outre, la conduité de l'eau au long des parties basses du terrain doit apporter cette eau dans la ravine.

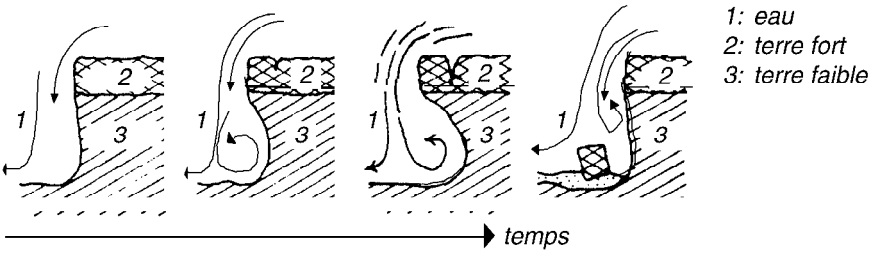


Figure 32 : Extension rétrograde.

Avant de finir, encore quelques remarques :

- En ayant comme but principal la défense contre l'érosion, les travaux de génie rural peuvent avoir comme but secondaire l'augmentation de l'infiltration de l'eau et sa conservation. Ce sont des buts qui se combinent bien.
- Les travaux de génie rural ne sont pas toujours nécessaires. Des mesures simples, comme la culture suivant les courbes de niveau ou la culture en bandes, peuvent diminuer, elles aussi, la vitesse érosive de l'eau. La mesure la plus simple est souvent la meilleure, car alors l'échec ne sera pas non plus, grand. En plus l'organisation est facile et les coûts de travail sont minimes. Pour ce qui est de l'application des mesures à grande échelle, le risques à prendre augmentent, car il n'est pas simple de travailler avec de grandes quantités d'eau.
- Les mesures mécaniques (travaux mécaniques) ne sont profitables que pour la défense des terres arables. Autrement les coûts des facteurs de production (outillage ou équipement, transport, etc) vont dépasser le profit.
- L'application d'un projet ou d'une mesure est en partie dépendante de la méthode d'exécution : de la force de la machine ou de la force de la main d'oeuvre disponible.
- Les dimensions d'un projet ou les dimensions d'une mesure, dépendent, quant à elles, de l'équipement disponible (p.e. charrue ou bulldozer).

- Dans la mesure du possible, les travaux à exécuter doivent être insérés dans les plans de l'aménagement future d'une région.
  Lorsque vous allez construire des terrasses p.e., vous devez choisir leurs dimensions de telle façon qu'elles soient facilement à travailler par une plot de 40m, choisissez plutôt 20 ou 40m. Il y a toujours une petite marge dans les dimensions d'une terrasse. Mais évidemment vous devez veiller aux terrasses sûres.
- Les travaux de génie rural sont potentiellement dangereux. Une préparation, une exécution ou un entretien défectueux, ne peuvent qu'augmenter les dégâts. Le devoir professionnel est exigences.
- Les ouvrages de terre élémentaires (terrasses, petits barrages) réclament un entretien continu et attentif (voir chapitre 9). Pour le rendre plus attractif, la plantation des fruitiers peut rapportée des fruits au sens figuré, comme au sens propre.
- La conception, le dessin et le calcul des structures et des canaux de drainage exigent des connaissances et des expériences particulières. Adressez-vous à un hydrologue pour cela.

8 Causes d'arriere plan de l'érosion

Nous avons vu dans le chapitre précédent comment on peut diminuer le risque d'érosion par une série de mesures. Mais souvent le fermier ne peut pas cultivir d'une autre manière, quoiqu'il saine que sa façon de travailler n'est pas optiment. D'autres intéréts que l'érosion se dressent devant lui. Une simple comparaison vous offrira une image suggestive.
Semblable à une route qui est construite pour la circulation et le transport, l'agriculture à comme fin la production de la nourriture et l'obtention de l'argent.
Une route est construite droite, sans se soucier du risque de l'érosion, comme l'agriculture essaye d'obtenir des productions élevées sans se soucier de la dégradation de terres et de ses conséquences.
Le choix d'une culture est en premier lieu déterminé par des exigences sociales, économiques et agronomiques. C'est pourquoi ces exigences doivent être considérées avec beaucoup d'attention. Si vous voulez savoir comment l'érosion a pu atteindre un degré si avancé dans une certaine région, vous devez regarder non seulement l'environnement naturel, mais chercher aussi, des raisons socio-économiques plus profondes.

Quelques exemples expliqurent la situation peut-être. Dans le chapitre 5 nous avons déjà indiqué l'importance d'un bon choix de cultures. Mais ce choix n'est pas toujours libre. Des cultures sarclées qui ne protègent pas le sol (maïs, manioc) sont pourtant la base de la nourriture d'un grand nombre de populations. Pour survivre on ne regarde pas les dégâts à venir! D'autres cultures ne peuvent pas être introduites à cause du manque d'équipement ou des conditions naturelles adverses.
Comme nous disait une fois, l'un des participants à une semaine d'Agromisa, les fermiers de sa région utilisaient le mulch dans le passé. La raison d'avoir abandonnée cette pratique, réside probablement dans l'augmentation de la population et par conséquent dans le besoin d'avoir de plus en plus des substances nutritives. Les herbes, les restes

de cultures, les déchets, sont tous utilisés comme comestibles, fourrages ou combustibles. Ainsi il ne reste plus de matériaux pour le mulch. La culture des plants pour servir de mulch, sur les sols marginaux inaptes à l'agriculture, ne constitue qu'une solution temporaire, car ces sols s'appauvrissent très vite et deviennent la proie de l'érosion. Cependant on doit offrir une alternative aux fermiers. Introduction d'une culture qui donne du bois de feu ou une culture en bandes, pourrait constitue une solution.

Il est évident que les systèmes de propriété foncière, comme les contrats de tenure et d'exploitation qui ne donnent aucune garantie à l'agriculteur, sont des obstacles importants à la conservation. Parmi les plus pernicieux de ces contrats, sont les baux agricoles à court terme (1 année environ), qui n'incitent en rien le cultivateur à investir dans des améliorations à long terme. D'une manière générale, on peut dire que plus l'exploitant se sent encouragé à tirer le maximum de la terre.

Parfois des systèmes injustes de propriété foncière encouragent aussi l'érosion du sol. Dans l'Amérique andine par exemple, les propriétaires riches obligent les petits cultivateurs de quitter la haute plaine où ils veulent introduire l'agriculture commerciale à grande échelle. Ainsi les petits cultivateurs pauvres sont obligés de s'installer sur les versants abrupts pour produire des cultures de subsistance. Cette pratique entraîne une forte érosion des versants qui compromet non seulement la productivité de ces exploitations de montagne, mais aussi celle des vallées qu'elles dominent et où les cours d'eau s'obstruent de sédiments érodés. La baisse de la production diminue en marche, un processus de paupérisme pour les agricultures commence.
Il y a encore beaucoup d'exemples, mais nous espérons que celui-ci est suffisamment instructif.

Ce n'est pas exagéré de dire que les conditions socio-économiques sont l'arrière moteur de l'utilisation de terres et souvent les causes les plus profondes du déclenchement de l'érosion.

9 Conditions necessaires pour la reussite des mesures

La défense contre l'érosion aurait la meilleur chance de réussite si on considérait les causes arrière-plan de son déclenchement. Mais hélas, le plus souvent cela est hors de la portée des petits cultivateurs concernés et du coorpérant. Parfois il arrive que ces causes soient recherchées par la formation d'une force politique de la population dupe. Mais sur ce processus, le coopérent n'a que peu d'influence.
Cela ne signifie pas qu'il ne peut rien faire. Chercher la direction de l'application de mesures bénéfiques non seulement au sol, mais aussi à la population c'est une action importante. Souvent le manque d'informations et de connaissances techniques n'est pas l'obstacle le plus limitant. D'autres facteurs empêchement la réussite de mesures.
Dans le suite nous allons nommer un certain nombre de facteurs. Il est évident que c'est à vous-même de vous rendre compte des choses sur lesquelles vous pouvez compter dans votre région.

La confiance

Une première condition de succès est d'avoir la confiance de la population locale. Un bon exemple où les agriculteurs ont accepté d'un premier coup les conseils concernant la conservation de l'eau, est celui d'un petit village de Perou, San Lucas. Comme dans d'autres villages de la région, un voyageur qui se faisait nommer San Lucas, parlait au villageois de l'importance de la conservation de l'eau et de ses effets bénéfiques. Pour les habitants des villages, cet homme était une légende vivante et comme les effets de la conservation de l'eau sur les cultures étaient remarqués assez vite, cet homme avait toute leur confiance.

Prise de conscience

Aucun projet de conservation ne reussit si la population locale ne comprend pas l'utilité de la mesure à appliquer. En fournissant des informations precises à la population, on leur aide a prendre conscience de la situation. Parfois les agriculteurs connaissent bien les consé-

quences désastreuses de leur façon de cultiver, mais ils restent cependant attachés à leur système, car ils pensent qu'ils ne peuvent agir autrement. Ils peuvent même vous avertir, en personnes directement intéressées sur l'échec d'un autre système, comme sur la perte de l'argent, de la peine et du temps investi. C'est avec eux donc, que vous devez chercher les mesures les plus adéquates et les entraîner dans l'élaboration et l'exécution de nouvelles mesures.

Le choix de mesures

Dans le choix de mesures il faut faire attention à :

L'établissement des priorités.

L'érosion doit être saisie aux sources. Une ravine est le résultat d'un déclenchement de l'érosion pendant et après une lourde ondée. L'eau de pluie s'accumule et s'écoule dans des dépressions, empruntant les lignes de moindre résistance pour descendre la pente. L'écoulement superficiel chemine dans de petits filets, qui en fonction de l'intensité et de la durée de la pluie, vont se creuser et s'élargir progressivement, jusqu'à ce qu'elles entaillent le sous-sol et forment des ravines.

Une ravine se forme toujours à partir de l'extrémité inférieure d'une pente et grignote le sol en remontant vers le sommet. C'est pour cela que des travaux de consolidation en aval sont sans résultat, car à une nouvelle ondée, le ruissellement de l'eau va augmenter la largeur et la profondeur de la ravine qui finira par atteindre le sommet du versant. Donc fait qu'on ne prend pas des mesures antiérosives en amont, une ravine ne peut être ni arrêtée, ni réparée. Donc, la maîtrise d'une ravine n'est pas la lutte contre l'érosion, mais la protection contre l'érosion, signifie bien, l'arrêt du ravinement.

La stabilisation et la réparation des ravines sont les plus coûteux de tous les travaux de la lutte contre l'érosion. En revanche, il est toujours possible de prévenir la formation des ravines par une bonne utilisation des terres. Mieux vaut prévenir que guérir!

Hélas, cette maxime n'est que rarement appliquée, et les mesures de défense suivent presque toujours les catastrophes.

Les subventions.

Comme généralement les travaux de conservation sont coûteux et leurs effets ne se voient qu'après un certain nombre d'années, c'est assez difficile de les promouvoir.

Cette lutte contre l'érosion est difficile, car les terrain érodés sont le plus souvent des properiété des agriculteurs les plus pauvres qui ne peuvent se permettre de faire d'investissement pour des travaux de conservation. Evidemment un agent de vulgarisation, peut leur parler de l'efficacité de certaines mesures. Il peut aussi leur montrer l'existence de l'érosion dans le terrain, et les avertir sur les conséquences futures. Mais aussi longtemps que ce terrain procure de la nourriture quotidienne, l'argriculture, non seulement ne sera pas motivé à l'améliorer, mais sera incité à "pressurer" la terre. Il existe, cependant, de nombreuses pratiques de conservation peu coûteuses que les agriculteurs peuvent entreprendre par eux-mêmes, et dont les résultats se voient à court terme. Nous ne voulons pas fair des propagantions que ces pratiques sont plus bénéfiques, mais sulement vous souligner qu'en les appliquant, fait un premier pas sur la voie de la conservation.

Le temps.

Quand les récoltes diminuent sur une terre agricole, il en reste très peu des choses à l'agriculteur pour survivre. Il ne peut que travailler plus longuement et plus durement, et l'idée de s'occuper de la conservation du sol s'éloigne encore de sa portée.

Un problème semblable est l'obtention du bois de feu. Quand dans une région les arbres disparaissent graduellement, les villageois sont obligés à dépenser plus de temps pour le ramasser. A Java par exemple, les paysans passent parfois plus de 4 heures par jour à faire ce travail, et en Himalaya, pas moins de 3 jour de ramassage de bois nécessaire pour une semaine.

Ça veut dire que le temps de ces gens est très limité et quand ils doivent encore travailler pour le propriétaire ou pour le voisin,ils ne peuvent vraiment pas détourner leurs efforts de leur objectif à court terme, à savoir la récolte de l'année.

Il faudrait donc, lors de l'établissement des programmes de conservation, que l'on veille à ce que les travaux ne soient planifies qu'apres la saison agricole.

Connexion des mesures.

Un bon exemple de connexion des mesures est la méthode v.d.Meulen, méthode de défense contre l'érosion née de la pratique.

La voici : Des rigoles escavées suivant les courbes de niveau avec une inclininaisont de 1-1,5%, collectent l'eau de ruissellement et le dirige vers une rigole principale ou un pli du relief qui la déverse dans un ruisseau ou rivière voisine. Avec le sol escavé de chaque rigole, on construit un rempart dans le côté amont de la pente, en laissant des trous vides d'une distance à l'autre. Ce rempart arrête l'eau de ruissellement, l'épand et l'amène à travers les trous. Ainsi la vitesse de l'eau est considérablement ralentie. Pour protéger le rempart on sème dans la partie supérieure une ligne étroite de plantes pérennes traçantes (Eupatorium triplinerve) qui s'étendent par stolons, d'où partent des rejetons, des pousses et des racines, qui couvrent le sol comme un tapis épais et forment une sorte de tamis à travers les trous du rempart qui arrête ainsi les particules du sol en suspension dans l'eau de ruissellement. Les sommets de ces remparts peuvent être encore protégés contre les fortes ondées par une couverture de légumineuses pérennes (Indigo endecaphylla). Le fond de la rigole principale doit être également protégé par des escaliers consolidés par des arbustes résistants. La méthode de culture la plus efficace sur ces pentes est le système de double récolte avec ou un minimum de labourage, en utilisant une culture améliorante et une culture de base de nourriture (des semies de maïs sont plantés par exemple en lignes à travers les chaumes d'une culture de blé). Si après la récolte de la culture "qui attire" l'eau (comme Centrosema pubescens) 1 à 2 mois après les semailles de la culture de nourriture quand celle-ci est bien installée. Après la récolte de la culture de base, Centrosema qui a formée déjà un tapis dense peut résister à la sécheresse et continuer de pousser. Ce cycle peut se répéter et ainsi la terre peut être utilisée année après année pour l'agriculture de nourriture.

Dans le chapitre 5 nous avons déjà montré qu'il est utile d'utiliser des cultures qui servent en même temps à plusieurs buts (couvert du sol, production du mulch, engrais verts, production de bois de feu ou bois de construction, etc.).

Entretien

Les exemples abondants de travaux de conservation du sol conçus par des spécialistes d'une autre région ou d'un autre pays, ont abouti à un échec principalement parce-que l'agriculteur n'avait pas été associé à la planification. Considérant cette nouveauté comme quelque chose qui ne le regardait pas, celui-ci n'a donc pas accepté de prendre la responsabilité d'entretenir ces ouvrages.
Associer la population locale à la planification et à l'exécution d'un programme de conservation est une condition préalable au succès de l'entreprise.

10 En guise de resume

En lisant ce livret, vous avez le sentiment peut être d'être submergés par un tas d'informations concernant la protection du sol contre l'érosion, dont vous ne savez que faire.
Vous auriez peut être voulu avoir une réponse concrète à une telle question et maintenant vous ne voyez plus la forêt à cause des arbres.
C'est parce que, un avis de notre part est difficile, nous allons essayer de vous fournir des alternatives, que vous pourriez choisir en fonction de vos conditions locales.
Une liste de questions, vous renvoyant aux divers chapitres de ce livret, pourrait vous aider.

La voici :

1 Quels sont les signes d'érosion dans votre région?
Faites le tour de vos terrains et notez les diverses phénomènes d'érosion que vous observez (chapitre 2).

2 Comment se manifeste exactement l'érosion et quels sont les facteurs qui y jouent un rôle?
Observez la ravine de tous les côtés et essayez de comprendre comment elle a pu se produire (chapitre 3).

3 Comment le phénomène a-t-il pu arriver et quelles en sont les causes profondes?
Quels sont les produits cultivés à cet endroit?
Pourquoi le sol n'est-il pas bien protégé?
Certains problèmes sociaux influent-ils sur le choix de la culture pratiquée et sur l'utilisation de la terre? Par ex. la propriété fragmentée des terres (chapitre 8).

4 Peut-on faire quelque chose pour supprimer les causes profondes?
En premier lieu, la réponse est souvent négative. Cependant, certaines tendances dans le développement de la lutte anti-érosive sont manifestes, qu'elles soient suivies ou ignorées (chapitre 9).

5 Que peut-on faire pour lutter contre le phénomène?
On peut contrôler les ravines. On peut aussi éviter la formation de filets par le drainage de l'eau de ruissellement (chapitre 7).

6 Quelles sont les principales mesures à prendre en considération?
On contrôle les ravines à l'aide d'une pierre cassée ou d'une couverture végétale. On peut aussi installer un système de drainage, construire des terrasses, étendre une couche de mulch, ou appliquer les trois méthodes à la fois (chapitres 5, 6 et 7).

7 De quoi a-t-on besoin pour effectuer ces travaux?
Il faut de l'argent, de la main-d'oeuvre, du temps, du matériel végétal à planter, un bon outillage, des connaissances et de l'expérience.

8 Peut-on obtenir tout cela, et si oui, est-ce facilement disponible?
Il faut commencer par faire un plan, pour éviter de perdre du temps avec un projet irréalisable.

9 Quels effets de la lutte anti-érosive doivent être pris en considération?
   a Quels sont les effets sur le sol d'une certaine méthode? (fertilité, capacité de retenir l'eau, etc.).
   b Quels sont les effets sur les travaux agricoles? (grandeur du lopin de terre, adéquation de certaines cultures, etc.).
   c Quels sont les aspects sociaux? (accords passés avec les paysans voisins sur la lutte anti-érosive, l'ouverture d'emprunts pour payer les mesures anti-érosives, la certitude que les lopins seront disponibles pour une certaine période pour pouvoir prendre des risques d'investissement, etc.).

10 Tout ceci est-il vraiment intéressant pour le paysan?
Il faut toujours rechercher la solution la plus simple ou la moins coûteuse. Sans aucun doute, le paysan lui aussi aura son idée là-dessus.

Nous espérons que les réponses à ce questionnaire vous aideront à trouver la solution la mieux adaptée à votre situation. Vous pouvez avoir besoin de l'aide des autorités dans votre zone. Dans ce cas, tenez compte du fait que chaque autorité défend des intérêts différents (par ex., un service de protection du sol s'empressera de construire de belles terrasses, car cela fera bon effet dans son rapport annuel; le gouvernement ou les banques sont prêts à aider les paysans qui cultivent des produits d'exportation, etc.).

Des spécialistes peuvent fournir aussi des renseignements utiles mais, hélas, ils ne sont souvent bien informés que dans leur propre domaine. La bibliographie donnée en fin de livre contient des titres d'ouvrages dans lesquels vous pourrez trouver d'autres renseignements, par exemple les critères de dessins applicables dans certaines zones. Les procédures sont souvent plus amplement décrites qu'il n'a été possible de la faire ici. Les ministères, les universités et le Service de Conservation du Sol en particulier peuvent vous fournir des renseignements utiles, adaptés à votre situation locale.

Rappelons pour finir quelques remarques de première importance.
Certaines procédures font plus de mal que de bien, si elles ne sont pas appliquées convenablement!!

N'hésitez pas à nous faire part de vos suggestions, de vos expériences dans des situations pratiques, ainsi que de toutes vos questions et critiques.

Annexe A : Liste des termes techniques

Bassin versant

Un bassin versant est une zone dans laquelle toutes les eaux s'écoulent vers une même voie de drainage ou nappe d'eau. Réunies par le système de rigoles, de fossés, de canaux et nappes, ces eaux déversent dans un cours d'eau ou dans la mer.
Deux bassins versants sont divisés par une ligne de partage d'eaux (qui peut être la crête d'une colline ou d'une montagne, une couche imperméable ou un grand canal ou rivière).

Aggrégats du sol

Appréciation tactile de la texture sur le terrain :
Pour procéder à l'examen tactile, on prélève un fragment de terre d'environ 2 cm, on l'humecte d'un peu d'eau, on le pétrit quelque peu dans les doigts et on essaye de lui donner les formes du dessin de la figure 33.

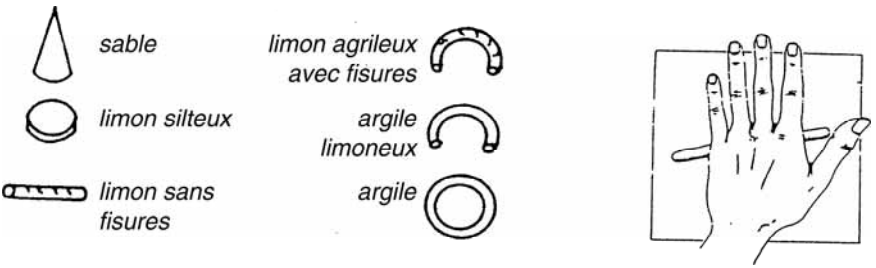


Figure 33 : Détermination de la texture au terrain.

On vérifie ainsi la proportion de sable, à partir de 1/10 de mm il commence à gratter au doigt, et on apprécie, d'après la plasticité et l'adhésivité, les proportions relatives d'argile et de limon. Si le sol est sableux on n'obtient qu'un petit cône. Si il est sablo-limoneux on peut obtenir une tablette. Si le sol est limono-sableux. Enfin, réussir à modeler un petit fer-à cheval signifie d'avoir une texture argilo-limoneuse

et un fer-à-cheval fissuré, une texture limono-argileuse. Finalement, modeler un cercle c'est modeler de l'argile.

Capacité d'infiltration

La capacité d'infiltration est la capacité du sol d'absorber et emmagasiner l'eau. Elle fonctionne comme une éponge, prenant l'eau dans ses pores et autour des particules de sol, et la relâchant ensuite, à la demande des végétaux, par évaporation à la surface du sol ou par lessivage vers la nappe aquifère. Un sol peu profond peut être très perméable mais il ne peut pas emmagasiner assez d'eau. C'est pour cela que sa capacité d'infiltration n'est pas grande.

Vitesse d'infiltration

La vitesse d'infiltration est la vitesse avec la-quelle l'eau est absorbée par le sol et la capacité maximale d'infiltration est la quantité totale d'eau qui peut être absorbée par le sol.

Ruissellement maximal

Le ruissellement maximal est le ruissellement qui se produit lors d'une averse exceptionnelle (p.e. une fois à cinq années) et donc l'eau doit être évacuée dans une courte période. Un système de drainage est calculé selon un ruissellement maximal à attendre une fois à dix années (en moyenne). C'est la norme de ruissellement d'une région. Pour pouvoir la calculer, on doit avoir les données de pluviométrie d'un grand nombre d'années, qu'on doit contrôler avec minutie pour éviter les calculs erronés et ainsi les catastrophes.

La perméabilité du sol

La perméabilité est la facilité plus ou moins grande avec la-quelle le sol se laisse pénétrer et traverser par l'eau. Elle se mesure par la rapidité de filtration de l'eau à travers le sol et dépend de la structure du sol, de la densité, de la porosité, etc. Ainsi p.e. l'argile lourd est peu perméable (densité élevée, particules fines, porosité réduite) par comparaison au sable qui est trop perméable (particules grossières, assemblage meuble, porosité élevée).

Le gradient de la pente

Le gradient de la pente (*C*) est une mesure qui donne en pourcents combien de mètres en sens vertical la surface monte ou descend (*A*) quand on se déplace horizontalement 100 m (*B*).

$$\frac{\text{verticallement } (A)}{\text{horizontalement } (B)} \times 100\% = \text{gradient de la pente } (C)$$

Une pente de 10% par exemple, signifie qu'on monte 10 m sur une distance de 100 m (figure 34).

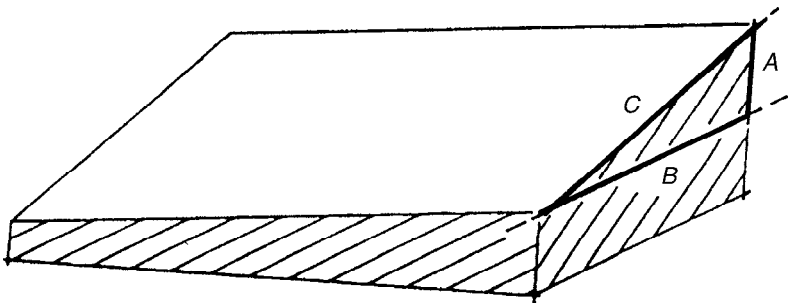


Figure 34 : Gradient de la pente.

La pente transversale

La pente transversale (*C*) d'une terrasse est la pente mesurée au long de la terrasse. La longueur de la terrasse (*B*) est la dimension mesurée parallèlement aux courbes de niveau et la largeur (*A*), la dimension perpendiculaire aux courbes de niveau (figure 35).

$$\frac{\text{la largeur de la terrasse } (A)}{\text{la longeur de la terrasse } (B)} \times 100\% = \text{la pente transversale } (C)$$

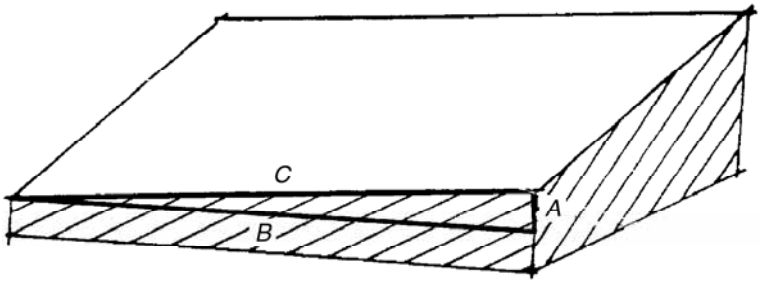


Figure 35 : Pente transversale.

Profil de sol

Le profil pédologique représente la constitution de la coupe du sol qui va de la surface jusqu'à la roche-mère. Autrement dit, c'est l'ensemble des horizons qui se distinguent entre eux par une texture, une couleur, une densité, une structure, une teneur en matière organique, une perméabilité différente, etc.

Annexe B : Quelques techniques topographiques pour déterminer les courbes de niveau

L'établissement de projets précis de terrassement ou les levés topographiques, supposent l'utilisation de certains instruments dont vous trouverez une description détaillée dans l'Agrodok no. 6, "Mesures de topographie pour le génie rural". Dans le présent Agrodok, nous nous limiterons à une description sommaire. Le théodolité est un instrument à alidade et à lunette pour lever les plans et mesurer les angles réduits à l'horizon.

La mire est une règle graduée utilisée dans le nivellement.
Si nous avons deux points, A et B, entre lesquels nous voulons mesurer la différence de niveau, nous devons placer premièrement la mire dans le point A. A l'aide du théodolite nous lisons la hauteur, p.e.1649. Ensuite nous plaçons la mire dans le point B et nous lisons 1436. La différence de hauteur est donc 164,9 – 143,6 = 21,3 cm (figure 36).

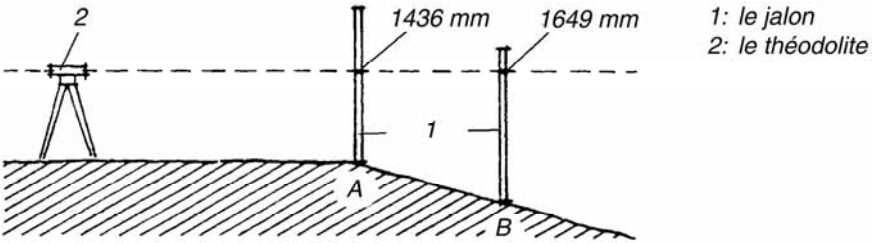


Figure 36 : Nivellement à l'aide du théodolite.

Les marques les plus connues de théodolites sont Wild, Zeiss, Kern, Sokkish. Mais le prix de tels instruments est aussi relativement élevé et le plus souvent des instruments nivellement simples peuvent nous servir aussi bien, quoique avec moins de précision.

Niveau d'eau

Le niveau d'eau peut être utilisé pour le jalonnement des courbes de niveau et pour mesurer la dénivellation.

Construction

Matériel nécessaire :

- Tuyau souple transparent de 15 à 25 m de long, d'un diamètre maximum de 1 cm.
- 2 lattes de 2 × 10 × 0,02 m avec une graduation.
- Morceaux de chambre à air.
- Clous en U (cavaliers) ou en L et marteau.

Les extrémités du tuyau sont attachées au jalon, par exemple au moyen d'une chambre à air fixée avec des cavaliers ou des clous en L. On peut ainsi faire glisser légèrement le tuyau vers le haut ou vers le bas quand c'est nécessaire au cours des mesures. Les extrémités supérieures du tuyau doivent dépasser les lattes d'environ 15 cm pour qu'on puisse le remplir plus facilement (figure 37). Avant le premier remplissage, le tuyau doit être rincé avec de l'eau savonneuse pour éviter les bulles d'air au moment de l'utilisation. Si nécessaire, il faut répéter cette opération.

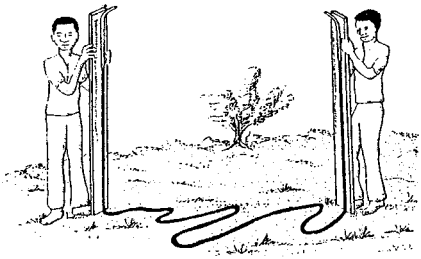


Figure 37 : Niveau d'eau.

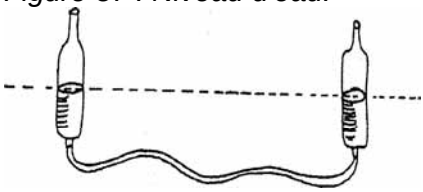


Figure 38 : Niveau d'eau, avec bouteilles

Quelquefois, une corde de 10 m de long ou plus est fixée aux lattes pour délimiter la distance entre les lattes. Cette corde, plus courte que le tuyau, permet d'éviter d'endommager celui-ci.

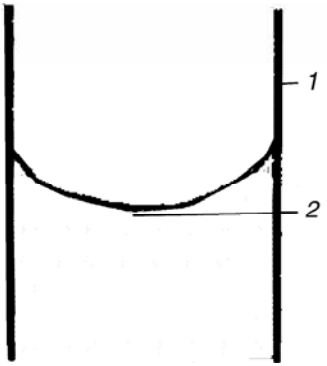
On peut également utiliser un modèle simplifié : le niveau à bouteilles d'eau. On a besoin du même tuyau et de deux bouteilles en plastique que l'on fixe avec du ruban adhésif aux deux extrémités du tuyau (figure 38).

Utilisation

- D'eau.
  N'utilisez que de l'eau propre, sinon l'intérieur du tuyau se salira, ce qui rendra la lecture impossible.
- Remplissage.
  Commencez à aspirer l'eau d'une boîte de conserve ou d'une bassine, et remplissez en abaissant le côté où vous avez aspiré au-dessous du niveau de la boîte ou de la bassine. Arrêtez le remplissage quand l'eau atteint les marques.
- Transport.
  Fermez les extrémités du tuyau en plastique au moyen d'un bouchon de liège ou de papier. N'oubliez-pas de les enlever avant l'utilisation suivante!
- Bulles d'air.
  Les bulles d'air qui persistent doivent être enlevées : pour cela, remplissez à nouveau le tuyau ou rincez-le avec de l'eau savonneuse. Les petites bulles d'air qui mesurent moins de la moitié du diamètre intérieur du tuyau ne gêneront pas la lecture.
- Vérification de l'instrument.
  Vérifiez toujours avant l'utilisation la fiabilité de l'instrument : placez les deux lattes l'une à côté de l'autre à la même hauteur. Le niveau d'eau doit être le même des deux côtés.
- Vérification de la lecture.
  La somme des lectures sur les deux lattes est appelée valeur de contrôle. Elle est correcte lorsque les différentes lectures ne présentent pas plus de 0,5 cm de différence. Si elles présentent une plus grande différence, refusez-les et refaites un lecture.
- Lecture.
  La partie inférieure de la surface concave de l'eau est considérée comme le niveau de lecture (figure 39).

Coût
Peu élevé; les matériaux sont disponibles sur place.

Précision
5 cm sur 100 m (niveau à bouteilles d'eau : 10 cm sur 100 m).



1: tuyau ou bouteilles
2: ménisque

Figure 39 : La lecture.

Risques d'erreur
- Bulles d'air.
- Pertes d'eau au cours de la lecture.
- Mauvais centrage.

Niveau d'eau
Les différences d'altitude peuvent être mesurées avec un niveau d'eau. Plantez un bâton au point A et un autre au point B, à 10 m de A. La différence entre les lectures sur les deux bâtons est la différence d'altitude.

Annexe C : Espèces

Espèces utilisées dans la protection des sols contre l'erosion dans les tropiques et les subtropiques.

Acacia spp.
Sont des espèces peu exigeantes des régions (semi-)arides, souvent utilisables dans des conditions de milieu hostiles ("adverse sites") : A.aneura, A.catechu, A.cyanophylla, A.melanoxylan, A.nilotica. Dans un climat sub-humide : A.auricultiformis.

Ailanthus altisima
Climat méditerranéen. Bon développement à partir des semies et des racines.

Bambusa spp. et d'autres espèces de bambou
En zones climatiques différentes, de la plaine à la montagne, utilisables pour la stabilisation de pentes et de berges de rivières. Croissance rapide, extension par rhizomes, système racinaire dense, riche litière, produits utilisables.

Casuarina equisetifolia
Régions (sub)humides, éventuellement semi-arides à humidité atmosphérique élevée. Multiplication par rhizomes.

Cupressus spp.
Climat méditerranéen : C.arizonica, C.macrocarpa et C.lusitanica. Riche litière, mais maigre couvert végétal.

Dalbergia sissoo
Climat de mousson. Utilisable pour la protection des berges et la stabilisation des ravines. Racines traçantes.

Eucalyptus spp.
Eventuellement utilisable sur les pentes terrassées. Exige un fort sarclage, ne supportant pas la concurrence d'autre racines. Une plantation fermée ne permet pas le développement d'un couvert végétal.

Ficus spp.
Utilisable pour la stabilisation des ravines et des berges.

Gliricidia sepium
Utilisable pour les endroits secs d'une plaine basse subhumide. Fixateur de l'azote.

Lantana camara
Arbuste à large amplitude : des régions semi-aride à humides, de la plaine à la montagne. Apte pour sols pauvres.

Leucaena leucocephala
Espèce génétiquement variable. Arbuste ou arbre utilisable pour la stabilisation de terrains dans les régions semi-arides comme dans les régions humides. Se multiplie par semies ou bouture. Croissance rapide, système racinaire fort, fixateur d'azote. Utilisable comme bois de feu, fourrage, etc.

Mimosa pigra
Arbuste à longues branches épineuses qui forme des broussailles denses. Utilisable pour stabiliser les berges.

Parkinsonia aculeata
Arbuste à utiliser dans des zones sèches.

Pinus spp.
Caractéristiques favorables pour la protection des sols contre l'érosion. Bon développement sur les sols secs, pauvres à drainage excessif. Supporte la concurrence des graminées; dans les futaies vieilles, le couvert végétal est bien développé; riche litière; écorce épaisse qui le protége du feu; bois de qualité. Les espèces tropicales exigent une sai-

son sèche marquée et des précipitations excédant 1200 mm par année : P.caribaea dans les terrains bas (aussi en régions sub-humides); la plupart des espèces sont adaptées au milieu montagneux : P.khasya, P.merkusii, P.insulatis, P.oocarpa, P.patula. Espèces méditerranéennes : P.brutis, P.canariensis, P.halepensis, P.pinaster et P.radiata.

Pithecolobium spp.
Grand arbre à système racinaire profond et traçant. Utilisable pour fixer les berges.

Populus spp.
La plupart des espèces se développent dans les plaines alluviales des régions à humidité atmosphérique élevée. P.euramericana, P.euphratica sont des bons fixateurs des berges. P.canescens est adapté aux terrains secs.

Prosopis chilensis
Climats (semi-)arides : croissance rapide même dans des endroits hostiles. Enracinement profond. Régénération par semies, rhizomes, boutures. Utilisable comme bois de construction.

Psidium guava
Arbuste à fruits comestibles. Dans les régions tropicales (sub)humides sur toutes sortes des sols, même sur des sols érodés secs. Multiplication à partir de semies.

Salix spp.
Climat subtropical (S.babilonica). Dans les montagnes tropicales (S.humboldiana). Utilisables pour la stabilisation des ravines et de berges. Multiplication facile par boutures et rejetons. Peu résistent à la sécheresse.

Tamarix spp.
Petits arbres ou arbustes. Résistent à la sécheresse.

Annexe D : Legumineuses

Tableau 2 : Legumineuses : caracteristiques et utilisation

espèces	plantes indicatrices	adaptation au climat	adaptation aux sols	utilisation
Arachis hypogeae	1,4,5	4,5,6	1,5	1,2,3,4
Cajanus cajan	3,4,9	4,5,7	1	1,2,3,4
Calopogonium mucunoides	3,4,5	4,5	6	1,2,3,4
Canavalis ensiformis	1,4,6,8,9	4,5,6		1,3,4
Cassia hirsula	3,4,7	4,5		4
Centrosema pubescens	3,5,6,9	4,5,7	5	1,2,4,5
Cicer arietinum	1,8,9	2,3,4,5,6	2,5	1,3,4
Crotalaria anagyroides	3,4,9	4,5	8	4
Crotalaria juncea	1,4,8,9	4,5,6	8	1,2,3,4
Crotalaria mucronata	3,4	4,5	8	1,2,4
Crotalaria spectabilis	3,4,7,9	4,5	1,8	4
Crotalaria usaromoensis	3,4	4,5	8	4
Desmodium adscendens	3	4,5	5	2,4
Dolichos lablab	3,5,6,8	4,5		1,2,3,4
Glycine javanica	3,6	4,5		1,2,4
Lens esculenta	1,4	1,2,3,4,5,6	1,2	3,4
Leucaena glauca	3,4,7	4,5	2,5,6	1,2,3,4,5
Medicago arabica	1,4,5	2	3,5,7	2,4
Medicago sativa	3,4,9	1,2,3,4,5,6	2,3,5,7	1,2,3,4
Mimosa invisa	1,2,3,4,5,6	4,5		4
Pueraria phaseoloides	3,5,6,9	4,5	2,6,8	1,2,4,5
Sesbania aculaeta	1,4	4,5	2,5,6	4
Sesbania exaltata	1,4	2,3,4,5,6		4
Sesbania macrocarpa	1,4,9	2,3,4,5,6	2,5,6	1,2,3,4
Stizobolium aterrimum	1,5,9	4,5	1,2,4	1,2,3,4
Stizobolium deeringianum	1,2,3,5,6,9	2,3,4,5	1,2,4	1,2,3,4
Stylosanthes gracilis	3,4,5,9	4,5	1,2,4,5,6,8	1,2,4
Tephrosia candida	3,4,7	4,5	6	3,4,5
Vigna oligosperm	1,2,3,5,6,9	2,3,4,5		1,2,3,4

Plantes indicatrices

1 = annuelle
2 = biannuelle
3 = pérenne
4 = érectile

5 = rempante
6 = grimpante
7 = véniseuse
8 = peu véniseuse
9 = résistance á la sécheresse

Adaptation au climat

1 = régions tempérées, précipations abondantes
2 = régions tempérées, seulement pluies d'hiver
3 = régions tempérées, seulement pluies d'été
4 = régions tropicales et sub tropicales, précipations abondantes
5 = régions tropicales et sub tropicales, précipations modérées
6 = régions tropicales et sub tropicales, ittigations
7 = régions tropicales et sub tropicales, régions arides et semi arides

Adaptation aux sols

1 = terres sableuses
2 = terres argileuses
3 = terres calcaires
4 = terres superficielles
5 = terres bien drainées
6 = terres humides
7 = terres neutres
8 = terres acides

Utilisation

1 = fourrage
2 = prairies
3 = nourriture
4 = engrais verts, couvert végétal
5 = protection côntre l'erosion

Bibliographie

Agpaga, A et l'autres. **Manual of Reforestation for the Phillippines.** 1975. G.T.Z. Eschborn, West Germany. Livre pratique pour le reboisement et la défense contre l'érosion, à utiliser aussi d'en d'autres endroits que Phillippines.

Agrodok 28 : Engrais vert et autres formes d'amelioration des sols. Agromisa, Wageningen Pays-Bas.

ASPAC. **Soil Conservation Handbook.** 1977. Taipei, Taiwan.

Eppink, L.A.A.J. **Bodemtechniek deel E (défense contre l'érosion et protection des sols, disponible en néerlandais).** 1984. L.U.W. Vakgroep Cultuurtechniek, Wageningen.

Greco, J. **La défense des sols contre l'érosion.** La maison rustique, Paris. Livre traitant l'érosion en général et les mesures nécessaire pour la défense des sols.

Greenland, D.J. and Lal, R. (ed). **Soil Conservation Management in the humid tropics.** 1977. G. Wiley and sons, Chichester, New York. Livre de spécialité très utile pour les collaborateurs au développement travaillant dans les tropiques humides dans la conservation des sols.

Goor, A.Y. and Barney, C.W. **Forest Tree Planting in Arid Zones.** 1968. The Ronald Press Company, New York. Ouvrage de référence pour les silviculture des régions semi-arides, contenant des informations sur la défense contre l'érosion.

N. Hudson. **Soil Conservation.** 1971. B.T. Batsford Ltd. Guildford, England. Livre traitant les principes d'érosion et la défense contre l'érosion des sols. Largement utilisable. Relativement technique.

Sistemas integrados de conservacion de suelos. 1985. 11CA - Republica Dominicana. An interesting and practical book with good descriptions of various simple measures for the small farmer in humid and sub-humid regions.

Soil conservation for developing countries. FAO, Rome.

Soil Conservation in Kenia. Gratis au Ministère de l'Agriculture. Une description des méthodes intensives de travail pour l'agriculture à petit échelle.

Technical guide : Soil and water conservation (pour la partie de nord de Nigéria). Agency for International Development and the USDA Soil Conservation Service Advisors, in cooperation with the State Ministries of Natural Resource. Manuel d'instructions avec une description détaillé des méthodes de lutte contre l'érosion. Beaucoup de tableaux.

Adresses utiles

Soil and Water Conservation Society
945 SW Ankeny Road
Ankeny, Iowa 50021-9764
Phone: 515-289-2331 ; Fax: 515-289-1227
Mail : webmaster@swcs.org; Website : http://www.swcs.org

Wocat
La mission de WOCAT est de fournir des outils permettant aux spécialistes de la CES de partager leurs précieuses connaissances en matière de gestion de l'eau et des sols, de les aider à trouver des approches et des technologies appropriées et de soutenir les processus de prise de décision à la fois sur le terrain et dans la planification.
Secrétariat WOCAT
Steigerhubelstrasse 3
CH - 3008 Berne, Suisse
Tél.: ++41 31 631 88 22 ; Fax: ++41 31 631 85 44
E-mail: wocat@giub.unibe.ch; Site web: http://www.wocat.net

INRA
147, rue de l'Université,
75338 Paris Cedex 07 France
Tél : +33 (0)1 42 75 90 00, Fax : +33 (0)1 47 05 99 66
http://erosion.orleans.inra.fr/

Websites :
http://soilerosion.net/